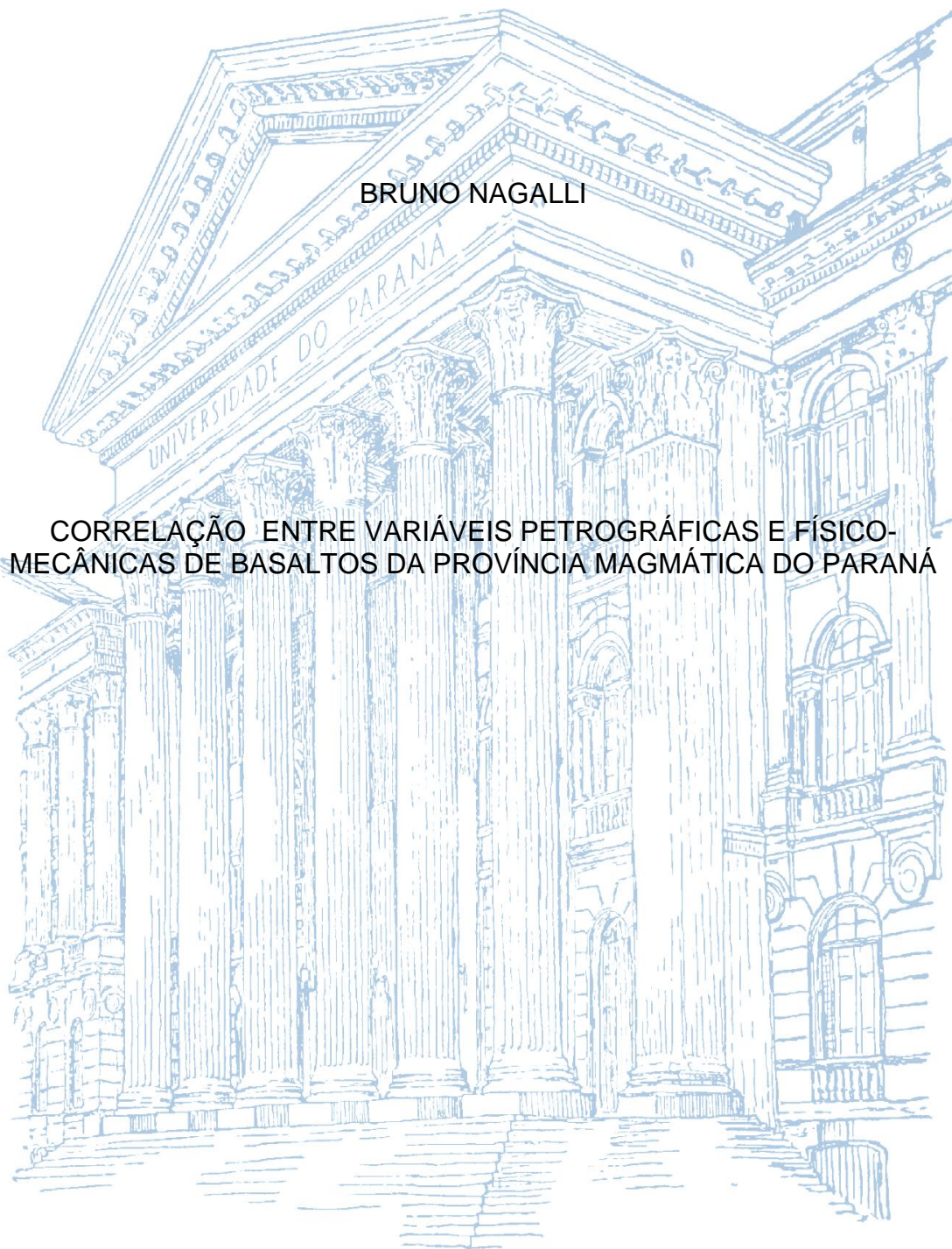


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO NAGALLI

CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS PETROGRÁFICAS E FÍSICO-
MECÂNICAS DE BASALTOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ



CURITIBA

2015

BRUNO NAGALLI

CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS PETROGRÁFICAS E FÍSICO-MECÂNICAS DE BASALTOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia em nível de mestrado, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia, no Programa de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: Geologia Exploratória. Linha de Pesquisa: Análise de depósitos minerais e métodos de exploração.

Orientadora: Profa. Dra. Eleonora M. G. Vasconcellos
Co-orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2015

Nagalli, Bruno.

Correlação entre variáveis petrográficas e físico-mecânicas de basaltos da Província Magmática do Paraná/ Bruno Nagalli - Curitiba, 2015.
82f , color.,tabs.

Orientadora: Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos.
Co-orientador: André Nagalli.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra,
Programa de Pós-Graduação em Geologia.

TERMO DE APROVAÇÃO

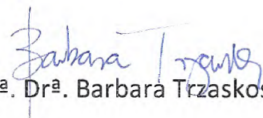
BRUNO NAGALLI

“Correlação entre variáveis petrográficas e físico-mecânicas de basaltos da província magmática do Paraná.”


Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:



Prof. Dr. Antonio José Ranalli Nardy - UNESP



Profª. Drª. Barbara Trzaskos - UFPR



Profª. Drª. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos - UFPR
Presidente

Curitiba, 02 de abril de 2015.

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho contou com o auxílio e apoio de diversas pessoas, empresas e instituições a quem agradeço e dedico. Primeiramente agradeço à Universidade Federal do Paraná – UFPR, ao Departamento de Geologia e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia os quais propiciaram a certificação, a viabilidade e a estrutura física para a realização da pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudos com auxílio financeiro ao pós-graduando.

Às empresas de mineração que gentilmente disponibilizaram lâminas petrográficas, laudos de ensaios físicos e viabilizaram os levantamentos de campo sem os quais não seria possível a realização e financiamento desta pesquisa.

Em especial à Professora Doutora Eleonora M. G. Vasconcellos, orientadora desta pesquisa, pelo incentivo, apoio, paciência e compreensão nos momentos de dificuldade, pelos vários momentos de discussão, cobrança, agilidade nas revisões e por compartilhar suas ideias, conhecimentos e dedicação a este trabalho, meus sinceros muito obrigado.

Ao Professor Doutor André Nagalli, co-orientador desta pesquisa e meu irmão, pelas discussões, amparo técnico e emocional, pelas revisões e preocupação com a qualidade do trabalho, pelas cobranças e por compartilhar seus conhecimentos em pesquisa científica.

Aos Professores Doutores João Carlos Biondi e Antonio J.R. Nardy pelas orientações na banca de qualificação fundamentais à conclusão deste trabalho.

Ao Geólogo João Tadeu Nagalli, meu pai, idealizador deste projeto, pelas intermináveis discussões, conselhos, críticas, levantamentos de campo, por compartilhar todo seu conhecimento acumulado ao longo de anos na área de estudo e por incentivar a execução desta pesquisa.

A todos os familiares que apoiaram e se preocuparam com a execução deste trabalho em especial à Silvana M. M. Nagalli e Mariana Nagalli pela atenção dedicada e paciência nos momentos de dificuldade.

RESUMO

A região oeste dos estados do Paraná e Santa Catarina embasa suas atividades mineiras no fornecimento de matérias-primas de base da construção civil, tendo como principal destaque a rocha basáltica britada. A caracterização deste agregado é comumente determinada por meio de análises petrográficas e ensaios físico-mecânicos. O objetivo da pesquisa foi avaliar a correlação entre as características petrográficas e físico-mecânicas de basaltos da Província Magmática do Paraná nos estados do Paraná e Santa Catarina. Buscou-se pelo método de correlação linear de Pearson, pela interpretação de diagramas de dispersão e pelo método de correlação de Spearman a análise do grau de correlação entre as variáveis. As variáveis físico-mecânicas utilizadas consistiram nos índices de abrasão Los Angeles, durabilidade, absorção d'água e massa específica. Os resultados mostram que a granulometria dos fenocristais e/ou da matriz influencia de maneira linear e positiva com coeficiente de correlação moderado os resultados físico-mecânicos de abrasão Los Angeles e durabilidade. A abrasão Los Angeles também é afetada de maneira não linear pela presença de obsidiana cloritizada e pela celadonita de maneira moderada. Os resultados também apontaram que os valores da durabilidade são influenciados pela porcentagem de piroxênio nos basaltos e pela presença de minerais como quartzo e obsidiana cloritizada. A massa específica é correlacionada moderadamente pelo percentual de vidro vulcânico e hidróxido de ferro e a absorção d'água sofre influência da porcentagem de clorita, epidoto, quartzo e pelo produto da soma dos minerais secundários da rocha. Os demais minerais secundários das rochas e os plagioclásios comprovaram que não existe correlação significativa entre estes e as variáveis físico-mecânicas.

Palavras – chave: correlação, basalto, ensaios físicos

ABSTRACT

The western region of the states of Paraná and Santa Catarina underlies its mining activities in the supply of raw materials to base civil construction. The main highlight are crushed basaltic rock. The characterization of this aggregate is commonly determined by petrographic and physico-mechanical tests. The purpose of this work was to evaluate the correlation between the petrographic and physical-mechanical characteristics of basalts of the Paraná Magmatic Province in the western states of Paraná and Santa Catarina. The degree of correlation between the variables could be realized by the linear correlation method of Pearson, the interpretation of scatter diagrams and the Spearman correlation method to analyze. The physical-mechanical variables used consisted of the Los Angeles abrasion indices, durability, water absorption and density. The texture of phenocrysts and/or matrix influence of linear and positively with moderate correlation coefficient of the physical-mechanical results of abrasion Los Angeles and durability. The Los Angeles abrasion is also affected non-linearly by the percentage of obsidian replaced by chlorite and the celadonite moderate way. The results also showed that the durability values are influenced by the percentage of pyroxene basalt and in the presence of minerals such as quartz and obsidian replaced by chlorite. The density is correlated moderately by volcanic glass and percent of iron hydroxide and water absorption suffers influences the percentage of chlorite, epidote and quartz by the product of the sum of secondary minerals of the rock. The other secondary minerals and plagioclase proved that there is no significant correlation between them and the physical and mechanical variables. The research results are important for the evolution of scientific knowledge in this area, for the construction industry to improve the understanding of the aggregate inference parameters, speed in the exploring techniques in which knowing the petrographic variables can estimate the results of physical and mechanical tests and reducing costs of physical-mechanical tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Correlação Linear Positiva entre X e Y Fonte: BUNCHRAFT (1999).....	24
Figura 2: Correlação Linear Nula entre X e Y. Fonte: BUNCHRAFT (1999).....	24
Figura 3: Correlação Linear Negativa entre X e Y. Fonte: BUNCHRAFT (1999).....	24
Figura 4: Correlação Não-Linear entre X e Y Fonte: BUNCHRAFT (1999).....	25
Figura 5: Distribuição amostral do Coeficiente de Correlação de Pearson para $\rho = 0$. Fonte: BUNCHRAFT (1999).....	26
Figura 6: Fluxograma do tratamento de dados.....	30
Figura 7: Instalações do Laboratório BIANCO - Tecnologia em Concreto. Secagem das amostras para o ensaio de absorção d'água.....	31
Figura 8: Instalações do Laboratório BIANCO - Tecnologia em Concreto. Preparação de amostras para ensaio de durabilidade.....	32
Figura 9: Localização das amostras na área de estudo. Fonte: SIGMINE 2014 Base geológica: CPRM- 2013.....	34
Figura 10: Análise petrográfica. Descrição de lâminas petrográficas em microscópio binocular de luz transmitida Olympus BX41 ao lado de contador de pontos a ser acoplado ao equipamento.....	35
Figura11: Vista panorâmica da frente de extração – Pedreira Britafoz, Foz do Iguaçu, PR.....	37
Figura12: Atividade de extração no núcleo do derrame basáltico.....	37
Figura13: vista de detalhe dos taludes da Pedreira Britafoz, Foz do Iguaçu, PR.....	37
Figura 14: Testemunhos de sondagem para análise Petrográfica Macroscópica dos diversos tipos de Basalto. Amostra BNM-01.....	38
Figura 15: Testemunhos de sondagem para descrição macroscópica. Destaque para os aglomerados de vidro vulcânico intersticiais a matriz da rocha. Amostra BNM-036.....	39
Figura 16: Fotomicrografia de Basalto. Pedreira Britafoz. Nicóis Cruzados: fenocristal de labradorita poiquilítico com inclusões de piroxênio. Amostra BNM-36.....	40
Figura 17: Fotomicrografia de Basalto, Pedreira Brasilândia do Sul, PR . Nicóis Cruzados: fenocristal prismático de labradorita, com saussuritização incipiente nas bordas do mineral. Amostra BNM-35.....	40
Figura 18: Fotomicrografia de Basalto, Pedreira Santa Lúcia. Nicóis Cruzados: fenocristal de labradorita (ao centro) com inclusões de augita, envolvido pela matriz subofítica. BNM-01.....	40

Figura 19: Fotomicrografia de Basalto. Nicóis Cruzados: fenocristais de labradorita com fraturas preenchidas por hidróxidos de ferro, com saussuritização incipiente e formação de finos agregados de epidoto. Amostra BNM-38.....	41
Figura 20: Fotomicrografia de Basalto, Pedreira Pérola Alto Jordão, Guarapuava, PR / Nicóis Paralelos: agregado de vidro vulcânico intersticial aos minerais da matriz da rocha. Amostra BNM37.....	42
Figura 21: (A) Fotomicrografia. Nicóis Paralelos: cavidades irregulares (ao centro) preenchidas por vidro vulcânico nas bordas e celadonita no centro. Amostra BNM- 41. (B) Nicóis Paralelos: agregado fibrorradiado de celadonita, envolvido por obsidiana cloritizada Amostra .BNM-41.....	43
Figura 22: Fotomicrografia de Basalto. Nicóis Cruzados: microfenocristal de augita com fraturas preenchidas por hidróxidos de ferro. Amostra BNM41.....	44
Figura 23: Fotomicrografia de Basalto. Nicóis Paralelos: agregado de vidro vulcânico cloritizado e oxidado, com fraturas preenchidas por hidróxidos de ferro. BNM-15.....	45
Figura 24: Fotomicrografia de Basalto. Nicóis Cruzados: amígdala preenchida por quartzo nas bordas e argilominerais no centro. Amostra BNM-27.....	45
Figura 25: Fotomicrografia de Basalto. Nicóis Paralelos: agregados de vidro vulcânico (castanhos), intersticiais aos minerais da matriz. Amostra BNM-32..	45
Figura 26: Destaque ao Contador de Pontos acoplado ao miscrocópio petrográfico Olympus -BX41.....	46
Figura 27: Diagrama de dispersão dos minerais da amostra BNM-01 entre as porcentagens das estimativas visuais e calculadas (Coeficiente de Correlação 0.995).....	48
Figura 28: Diagrama de dispersão entre a granulometria da matriz das estimativas visuais e calculadas. (Coeficiente de Correlação 0.9232).....	48
Figura 29: Fotomicrografia: Basalto, Pedreira Santa Lúcia, Nicóis Cruzados: fenocristais de labradorita (ao centro) envolvidos pela matriz subofítica. Amostra BNM-02.....	49
Figura 30: Fotomicrografia: Pedreira Oliveira, Nicóis Cruzados: matriz formada por labradorita ripiforme, augita anédrica e opacos, com agregados fibrorradiados intersticiais de clorita.....	50
Figura 31: Fotomicrografia: Basalto, Pedreira Schroeder, Nova Fátima, PR, Nicóis Paralelos: agregado castanho amarelado de obsidiana cloritizada, intersticial aos minerais da matriz da rocha.....	50
Figura 32: Imagem ilustrativa do equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles.....	52
Figura 33: Interface do programa BioEstat e Análise Estatística.....	56
Figura 34: Gráficos de dispersão amostral.....	57
Figura 35: Gráfico de máximos e mínimos da porcentagem dos principais minerais dos basaltos.....	58

Figura 36: Diagrama de Dispersão abrasão Los Angeles e Granulometria da Matriz.....	61
Figura 37: Diagrama de Dispersão abrasão Los Angeles e Granulometria Fenocristal.....	61
Figura 38: Diagrama de Dispersão abrasão Los Angeles e Obsidiana Cloritizada.....	62
Figura 39: Diagrama de Dispersão abrasão Los Angeles e Celadonita.....	63
Figura 40: Diagrama de Dispersão abrasão Los Angeles e Hidróxido de Ferro.....	64
Figura 41: Diagrama de Dispersão Durabilidade e Fenocristal.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 42: Diagrama de Dispersão Durabilidade e Granulometria da Matriz.....	66
Figura 43: Diagrama de Dispersão Durabilidade e Obsidiana Cloritizada.....	67
Figura 44: Diagrama de Dispersão Durabilidade e Quartzo com quatro amostras.....	68
Figura 45: Diagrama de Dispersão Durabilidade e Quartzo com todas as amostras.....	68
Figura 46: Diagrama de Dispersão Massa Específica e Hidróxido de Ferro...	70
Figura 47: Diagrama de Dispersão Massa Específica e Vidro Vulcânico.....	70
Figura 48: Diagrama de Dispersão Absorção D'água e Somatório de Minerais Secundários.....	71

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro I: Proposta de Associações faciológicas de ARIOLI e LICHT (2012)...	18
Tabela I: Teste estatístico para a Porcentagem Mineral.....	47
Tabela II: Teste estatístico de correlação entre as medidas granulométricas e estimadas e calculadas.....	47
Tabela III: Análise de correlação da abrasão Los Angeles.	60
Tabela IV: Análise de correlação da Durabilidade.	65
Tabela V: Análise de correlação da Massa Específica.....	69
Tabela VI: Análise de correlação da Absorção d'água.....	72

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS E TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO	14
1.2. JUSTIFICATIVA	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA E PETROGRÁFICA DOS BASALTOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ	16
2.2. INFLUÊNCIA DE PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS EM ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	18
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CORRELAÇÃO	21
2.3.1. CORRELAÇÃO ESPÚRIA	22
2.3.2. CARACTERIZAÇÃO DE UMA VARIÁVEL	23
2.3.3. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	24
2.3.4. SUPOSIÇÕES BÁSICAS PARA A UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	26
2.3.5. INTERPRETAÇÃO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	27
2.3.6. FATORES QUE AFETAM O COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	28
2.3.7. DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	28
2.3.8. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN	29
2.3.9. ESTIMADOR DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN E SIGNIFICÂNCIA	29
3. MÉTODOS E MATERIAIS	30
3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
3.2. AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS E LAUDOS – BANCO DE DADOS	32
3.3. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA	35
3.5. ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS	52
3.5.1. ENSAIO DE ABRASÃO LOS ANGELES	52
3.5.2. ENSAIO DE DURABILIDADE/SANIDADE	53
3.5.3. ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA	53

3.5.4. ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA	54
3.6. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA	54
3.6.1. MÉTODO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	55
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	58
4.1. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS	58
4.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	59
4.3. ABRASÃO LOS ANGELES	60
4.4. DURABILIDADE	65
4.5. MASSA ESPECÍFICA.....	69
4.6. ABSORÇÃO D'ÁGUA.....	71
4. CONCLUSÕES	74
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
6. APÊNDICES	83

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil no Brasil atualmente demanda volume crescente de matéria-prima resultando em impacto direto sobre a mineração de agregados. Apesar da favorabilidade geológica nacional para estes materiais a lavra pode ser inviabilizada por fatores como, a falta de conhecimento geológico sobre as jazidas, os baixos valores de venda e os elevados custos operacionais de prospecção, beneficiamento e transporte. Desta maneira, o conhecimento sobre o minério e suas propriedades influencia diretamente a economicidade de uma jazida. Os estados do Paraná e Santa Catarina embasam suas atividades mineiras no fornecimento de matérias-primas de base da construção civil, tendo como principal destaque a brita no grupo dos agregados. As análises petrográficas e físico-mecânicas as quais são essenciais para caracterização de agregados, e o estudo da correlação entre estas propriedades, norteiam o aprimoramento das técnicas analíticas e o conhecimento geral sobre estas rochas.

O presente trabalho baseia-se na hipótese da existência de forte correlação entre as variáveis petrográficas dos basaltos nos resultados das análises físicas de sanidade/durabilidade, abrasão Los Angeles, absorção d'água e massa específica.

1.1. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar o grau de correlação entre as características petrográficas e físico-mecânicas de basaltos da Província Magmática do Paraná dos estados do Paraná e Santa Catarina, por meio de métodos estatísticos. Os métodos utilizados para a correlação consistiram na Correlação Linear de Pearson, não-linear de Spearman, análise de diagramas de dispersão.

1.2. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho justifica-se na busca por melhores técnicas analíticas e prospectivas, no emprego de métodos científicos comprovados

para a caracterização dos agregados e no impacto positivo sobre o sistema produtivo de agregados como base da construção civil. Portanto, o estudo da correlação das propriedades petrográficas e físicas de basaltos reflete de maneira direta a qualidade dos agregados para concreto asfáltico e de cimento e no preço do produto final, que por sua vez, atua positivamente na economia e na qualidade de vida da população.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico apresenta as características petrográficas que podem influenciar as propriedades físicas e mecânicas das rochas. Os trabalhos encontrados abordam a correlação a partir de diversas variáveis petrográficas e físico-mecânicas e para diversos litotipos.

O levantamento bibliográfico tem ênfase em três vertentes principais para a compreensão do tema, são elas:

- a) Contextualização geológica e petrográfica dos basaltos da Província Magmática do Paraná;
- b) Influência de propriedades petrográficas em ensaios físicos e mecânicos;
- c) Análise estatística de correlação.

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA E PETROGRÁFICA DOS BASALTOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ

A área de estudo do presente trabalho localiza-se geologicamente na Bacia Sedimentar do Paraná, uma vasta bacia intracratônica sulamericana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo. Abrange uma área de cerca de 1.200.000 km², estendendo-se pelo Brasil por 1.100.000km², Paraguai com 100.000 km² e Argentina com 400.000 km² (ZALÁN *et al.* 1987), e tem um formato alongado na direção norte-nordeste e sul-sudoeste com aproximadamente 1750 quilômetros de comprimento e largura média de 900 km. Dois terços da porção brasileira (734.000 km²) são cobertos por derrames de composição básica podendo atingir até 1700 metros de espessura, cujas rochas basálticas são objeto do presente trabalho.

Segundo ALMEIDA (1981), a evolução da Bacia do Paraná ocorreu em quatro estágios. Os dois primeiros compreendem dois ciclos tectonossedimentares completos em uma bacia sinforme em processo de subsidência e os dois últimos envolvem soerguimento e extrusão de grandes volumes de lava toleítica, corpos intrusivos e diferenciados correspondentes.

No ciclo final, denominado Supersequência Gondwana III, desenvolveu-se a Província Magmática do Paraná (PMP), também denominada Província Ígnea Continental Paraná-Etendeka. Segundo MELFI *et al.* (1988) a PMP tem seu início associado à ruptura da porção oeste do continente Gondwana durante o Cretáceo Inferior. Caracteriza-se por representar uma das maiores províncias vulcânicas de basaltos do planeta (Large Igneous Provinces - LIPs) e está relacionada a um intenso magmatismo com geração de grande quantidade de magma originado por uma pluma mantélica, segundo O'CONNOR *et al.* (1990), GALLAGHER e HAWKESWORTH (1994) e MARQUES e ERNESTO (2005).

Conforme relatam ARIOLI e LICHT (2012), na instalação da Bacia do Paraná sobre a Plataforma Sul-Americana, este modelo foi confirmado por vários estudos tectônicos e paleogeográficos. Entre as hipóteses que regem a origem da formação da bacia encontra-se a de FÚLFARO *et al.* (1982), que descrevem que a Bacia do Paraná originou-se na forma de um aulacógeno, com uma calha epicontinental do tipo *graben* ampla e com grande persistência ao longo do tempo geológico. Outra hipótese é a de MILANI e RAMOS (1998), que propõem que a Bacia do Paraná originou-se como um golfo aberto para o oceano Panthalassa e precedida de uma depressão intracratônica aprisionada no interior do Gondwana.

O primeiro trabalho de datação realizado por FODOR *et al.* (1985), determina idades entre 140 e 115 Ma pelo método de K-Ar. Entretanto RENNE *et al.* (1992), TURNER *et al.* (1994), PANDE *et al.* (2002), MENZIES (2006) reconhecem que dentro deste período há uma concentração de idade em 133Ma. Segundo THIEDE e VASCONCELOS (2010) a partir do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ o magmatismo da Província Magmática do Paraná ocorreu durante um curto período de tempo (1,2Ma) com auge próximo a 134,7Ma.

Geoquimicamente os trabalhos de PEATE (1989) dividem a Província Magmática do Paraná em seis magmas-tipo, três de alto TiO_2 (>2%) e três de baixo TiO_2 (<2%), propondo uma classificação e nomenclatura específicas. O trabalho geoquímico de LICHT e ARIOLI (2012) aponta para uma diversidade de fontes para o magma e/ou graus variáveis de contaminação crustal para o magma em ascensão.

Geoquimicamente, as rochas provenientes deste evento são basaltos e rochas associadas de filiação toleítica podendo ocorrer riolitos e riodacitos com teores entre 60% e 64% de SiO_2 conforme MILNER *et al.* (1995). GUIMARÃES (1933) divide os litotipos com altos teores de ferro e magnetita e propõe que estes teores decrescem das porções centrais para a porção sul da bacia. LEINZ (1949) classifica as rochas com base nos teores de SiO_2 em dois grupos de 46% a 55% e de 61% a 66%. Segundo os trabalhos de PACCA e HIODO (1976) e ERNESTO *et al.* (1979), BELLINI *et al.* (1984) WHITE (1989), JERRAM *et al.* (1999), NARDY *et al.* (2001) MENZIES e EBINGER (2000), MENZIES *et al.* (2002) e FREITAS *et al.* (2002) são individualizados diversos conjuntos litológicos baseados nas composições químicas e petrogenéticas, atribuindo-se uma distribuição espacial e estratigráfica. A proposta mais recente sobre o tema provém dos trabalhos de ARIOLI e LICHT (2006 e 2012) que sugerem a compartimentação das rochas localizadas na porção sudoeste do Estado do Paraná definindo o Grupo Serra Geral, subdividido em quatro Formações denominadas Covó, Candói, Barracão e Cascavel e treze membros, conforme mostra o Quadro I.

2.2. INFLUÊNCIA DE PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS EM ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

Os trabalhos pioneiros de JUDD e HUBER (1961), D'ANDREA *et al.* (1965); DEERE e MILLER (1966), BROTH e FRANKLIN (1972), BIENIAWSKI (1975), MICHALOPOULOS *et al.* (1976), HASSANI *et al.* (1980), GUNSALLUS e KULHAWY (1984), HAWKINS e MCCONNEL (1991), TSIDZI (1991), SHAKOOR e BONELLI (1991), BELL (1978), FAHY e GUCCIONE (1979), HOWARTH e ROWLANDS (1984) e SINGH (1981) comprovam que parâmetros petrográficos interferem na resistência mecânica das rochas. A partir destes trabalhos outros pesquisadores tentaram identificar quais são as propriedades petrográficas mais significativas.

Unidades litoestratigráficas	Associações faciológicas
Formação Covó	Interdigitação de ignimbrito reomórfico, lava ignimbrítica e fluxos de lava com composição de riódacito, quartzo-latito, andesito, riolito, vitrófiro.
Membro Guarapuava	Ignimbrito reomórfico com composição de riódacito, quartzo-latito, andesito, riolito, brecha de fluxo e vitrófiro.
Membro Palmas	Ignimbrito reomórfico, lava ignimbrítica e fluxos de lava de composição riolítica.
Formação Candói	Derrames tabulares de basalto cinza com entablamento sigmoidal e disjunção hexagonal na base e no topo, variando lateralmente a lobos tabulares de basalto hipohialino cinza-escuro e basalto cloritizado cinza-esverdeado.
Membro Três Pinheiros	Derrames tabulares de basalto hipohialino com entablamento em leque e em bloco, recobrem localmente basaltos Foz do Areia e Ivaiporã, intercalam-se a basaltos e brechas do Membro Cantagalo, na Formação Barracão.
Membro Foz do Areia	Derrames tabulares espessos de basalto fanerítico cinza, sem evidências de hidrotermalismo, zona vesicular de topo delgada e descontínua, com preenchimentos de quartzo, calcita e zeólita, disjunção colunar e entablamento sigmoidal bem desenvolvidos, com níveis de brecha hidrovolcanoclástica somente na base da sequência.
Membro Ivaiporã	Intercalação de derrames tabulares e lobados de basalto fanerítico cinza com níveis isolados de brecha hidrovolcanoclástica.
Membro General Carneiro	Intercalação de derrames tabulares e lobados de basalto fanerítico cinza com níveis isolados de brecha hidrovolcanoclástica.
Membro Chopinzinho	Derrames tabulares com estrutura interna com zona de topo de basalto hipohialino com disjunção colunar fina recobrimdo geodos de ametista e núcleo de basalto fanerítico cloritizado. Intercalações de brecha peperítica.
Formação Barracão	Derrames tabulares e lobados de basaltos avermelhados (oxidação pervasiva) com abundantes intercalações de rochas vulcanoclásticas e sedimentares.
Membro Flor da Serra do Sul	Derrames tabulares de ferro-basalto roxo-esverdeado com entablamento em cunha, sigmoidal e tetragonal, intercalados a brecha vulcanoclástica.
Membro Cantagalo	Intercalação de derrames lobados de basalto vesicular, com abundantes brechas de fluxo cimentadas por sílica e calcita, brechas vulcanoclásticas, arenito conglomerático de grânulos, arenito fino a siltico e siltito.
Membro Salgado Filho	Intercalação de derrames lobados de basalto vesicular, brechas vulcanoclásticas, arenito fino a siltico e siltito.
Formação Cascavel	Derrames lobados, lobos tabulares e derrames tabulares de basalto avermelhado, com intercalações vulcanoclásticas e sedimentares diminuindo em proporção da base para o topo da sequência.
Membro Toledo	Derrames tabulares de ferro-basalto cinza-arroxado com entablamento em cunha, sigmoidal e disjunção mais comumente tetragonal, intercalados a brecha hidrovolcanoclástica, arenito e lobos de basalto cinza.
Membro Santa Quitéria	Lobos tabulares e derrames lobados de basalto vesicular intercalados a brechas vulcanoclásticas, tufo e sedimentos terrígenos.
Membro Foz do Iguaçu	Lobos tabulares e derrames tabulares de basalto cinza intercalados a raros níveis de tufo e arenito.

QUADRO I: PROPOSTA DE ASSOCIAÇÕES FACIOLÓGICAS DE ARIOLI E LICHT (2012).

Estudos específicos em arenitos de OLLSON (1974) e ULUSAY *et al.* (1994) revelam que as propriedades mecânicas podem ser afetadas por características petrográficas como: tamanho e forma do mineral, grau de compactação, distância entre grãos, o tipo de contato, quantidade e tipo de cimento e/ou a matriz e a composição mineralógica e que estas propriedades podem ser facilmente medidas em laboratório e são normalmente determinadas durante os estudos de lâminas petrográficas.

BRACE (1961) e FAHY e GUCCIONE (1979) estudaram o efeito do tamanho de grãos nas propriedades mecânicas de arenitos e concluíram que, em geral, a resistência da rocha é maior quanto menores os grãos que as constituem e que, quanto menor a média de tamanho, maiores são os índices finais. FAHY e GUCCIONE (1979) observaram que a esfericidade é inversamente proporcional à resistência à compressão e que esta, mostra maior correlação entre todas as outras propriedades petrográficas. Entretanto, HOWARTH E ROWLANDS (1986) propõem que a textura da rocha é um fator de moderada correlação ($0,30 \leq r < 0,60$) com diversas propriedades mecânicas. As pesquisas de BROCH (1984) e HARALDSON, (1984) demonstram que rochas metamórficas são mecanicamente mais frágeis que rochas magmáticas. Atribuem a fragilidade mecânica ao fato da recristalização mineral fornecer ligações químicas mais simples e mais fracas que as ligações primárias das rochas magmáticas.

SELMER-OLSEN (1949), HORVLI (1988) e NLSUND (1988) propuseram que o hábito mineral influencia os resultados de testes de abrasão Los Angeles, revelando que minerais fibrosos indicam maiores índices, e que a alteração do piroxênio prismático em anfibólio fibroso também contribui para o aumento do índice.

ONODERA e KUMARA (1980) relatam que em rochas ígneas a resistência à compressão diminuiu significativamente à medida que o tamanho dos minerais aumenta e que a força de resistência é também altamente afetada pelo processo de alteração e intemperismo. Os autores chegam à determinação de uma relação linear entre o tamanho dos minerais e a resistência. Contudo estes autores não utilizam os mesmos tipos de ensaios físicos e mecânicos para a análise, havendo uma predominância de abordagem nos testes de resistência por compressão uniaxial. Para os ensaios

de abrasão Los Angeles são encontrados artigos que avaliam a correlação, desde o emprego do tipo de rocha, até a análise petrográfica.

AL-BAIJAT (2008) avaliou as respostas ao uso de rocha basáltica em corpos de prova de concreto quando submetidos a testes de abrasão Los Angeles e compressão uniaxial, e comprovou qualidade superior dos basaltos às rochas carbonáticas.

O artigo de BRATTLI (1992) constitui um trabalho guia para esta pesquisa, onde se estabelece o grau de influência de fatores geológicos em rochas ígneas básicas em propriedades mecânicas de abrasão Los Angeles durabilidade e resistência ao impacto. O autor faz uso de métodos estatísticos consagrados como correlação linear e análise de regressão semelhantes aos desta pesquisa. Os resultados apresentados por BRATTLI (1992) apontam que há forte correlação (coeficiente de correlação superior a 0,66) entre porcentagem de piroxênio nas rochas e os resultados de abrasão Los Angeles. Nos testes de durabilidade conclui-se que a granulometria apresenta coeficiente de correlação de 0,72 sendo este o fator geológico de maior interferência nos índices mecânicos. Por fim, o trabalho também faz considerações estatísticas importantes indicando que quando duas ou mais variáveis petrográficas estão correlacionadas as técnicas de estimativa estatística são incapazes de avaliar seus efeitos independentemente.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CORRELAÇÃO

A análise de correlação e a análise de regressão são métodos estatísticos amplamente utilizados para estudar o grau de relacionamento entre variáveis, sendo conforme o trabalho de BRATTLI (1992) utilizada para a correlação entre variáveis petrográficas e resultados de ensaios físico-mecânicos. O resultado da análise de correlação é expresso de modo numérico indicando como as variáveis oscilam conjuntamente. Portanto mede-se a intensidade e a direção da relação linear ou não-linear entre duas ou mais variáveis. Conceitualmente, segundo LIRA (2004), a medida que expõe o grau de relacionamento entre duas variáveis, é chamada de coeficiente de correlação. Pode ser denominada também como medida de associação, de interdependência, de intercorrelação ou de relação entre as variáveis.

O grau de correlação é um indicador que atende à necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que, para isso, seja preciso o ajuste de uma função matemática, expressa pela análise de regressão. Assim, não existe a distinção entre a variável explicativa e a variável resposta, ou seja, o grau de variação conjunta entre X e Y é igual ao grau de variação entre Y e X. Já a análise de regressão, além de medir a associação entre uma variável resposta Y e um conjunto de variáveis independentes (X_1, X_2, \dots, X_p), também estima os parâmetros do comportamento sistemático entre as mesmas. Necessita da especificação da forma funcional que relaciona a variável resposta às outras co-variáveis. Quando o objetivo é estudar a relação entre as variáveis, nem sempre é necessário um detalhamento como o da análise de regressão, mas apenas determinar o grau de relacionamento entre as variáveis analisadas.

No presente trabalho pretende-se somente analisar o grau de correlação entre as amostras estudadas, dispensando abordagem mais profunda e completa como a análise de regressão.

2.3.1. CORRELAÇÃO ESPÚRIA

Conforme descreve SIEGEL (1975): "O estabelecimento da existência de uma correlação entre duas variáveis pode constituir o objetivo precípua de uma pesquisa (...). Mas também representar apenas um passo, ou estágio, de uma pesquisa com outros objetivos, como, por exemplo, quando empregamos medidas de correlação para comprovar a confiabilidade de nossas observações". Dado um conjunto de variáveis, pode haver somente uma relação numérica, sem relação geológica de ocorrência. Portanto, neste caso, a correlação entre as variáveis envolvidas é denominada Espúria, decorrente apenas de uma coincidência.

Os métodos de correlação estatística somente poderão ser empregados quando suas variáveis forem passíveis de correlação. Deverão ser descartadas da análise variáveis as quais, mesmo que numericamente correlatas, não possuírem correlação geológica entre si.

Um dos principais focos do presente estudo consiste em utilizar somente variáveis cuja correlação respeite os critérios geológicos e laboratoriais de

existência. Emprega-se a análise de correlação espúria nas primeiras etapas do processo de correlação a fim de descartar possíveis erros grosseiros de comparação. O método de emprego está atrelado ao raciocínio geológico na avaliação da possibilidade de comparação entre as variáveis petrográficas e físico-mecânicas.

2.3.2. CARACTERIZAÇÃO DE UMA VARIÁVEL

Para a compreensão do método de correlação no âmbito da geologia faz-se necessária primeiramente a definição de variáveis, por meio das quais podem ser aferidas as questões de interesse. Assim, é possível entender que a variável é uma primeira forma de operacionalizar a construção teórica, sendo, portanto, uma característica a ser mensurada.

Segundo LIRA (2004), uma variável pode se apresentar das seguintes formas, quanto aos valores assumidos:

- Escala nominal: é aquela que permite o agrupamento da unidade de observação (unidade da pesquisa) de acordo com uma classificação qualitativa em categorias definidas, ou seja, consiste simplesmente em nomear ou rotular, não sendo possível estabelecer graduação ou ordenamento. Ao se trabalhar com essa escala, cada unidade de observação deve ser classificada em uma e somente uma categoria, isto é, deve ser mutuamente excludente. Citando um exemplo bastante comum, considerando que X seja a variável produção diária de peças de automóveis de uma determinada indústria, é possível classificar as peças em perfeitas e defeituosas. Neste caso, a variável X assume as categorias “perfeita” e “defeituosa”, sendo denominada dicotômica. Quando assume mais de duas categorias é denominada politômica.
- Escala ordinal: permite o agrupamento da unidade de observação de acordo com uma ordem de classificação. A escala ordinal fornece informações sobre a ordenação das categorias, mas não indica a grandeza das diferenças entre os valores. Considerando a produção diária das máquinas de uma fábrica de peças de equipamentos eletrônicos, é possível classificá-las em: primeira em produção, segunda em produção, terceira em produção, e assim por diante.

- Escala intervalar: ocorre quando as unidades de observação, além de estarem numa ordem de classificação, possibilitam quantificar as diferenças entre elas. Quando o zero está incluído como uma medida, é chamada escala de razão. Como exemplo, seja a variável X o número de peças de automóveis defeituosas produzidas diariamente numa certa indústria, essa variável pode assumir valores: 0, 1, 2, 3, ..., 1.000.

2.3.3. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Segundo PEARSON (1892) e LIRA (2004), diferentes formas de correlação podem existir entre as variáveis. O caso mais simples e mais conhecido é a correlação simples, envolvendo duas variáveis X e Y. A relação entre as duas variáveis será linear quando o valor de uma pode ser aproximado por meio da equação da reta. Assim, é possível ajustar uma reta da forma $Y = \alpha + \beta X$ aos dados. Neste caso, a correlação é linear simples. Entretanto, quando não for possível o ajuste da equação anterior, não significa que não existe correlação entre elas. Segundo LIRA (2004) poderá haver correlação não-linear entre as mesmas. Uma forma simples de verificar o tipo de correlação existente entre duas variáveis é através do gráfico chamado “Diagrama de Dispersão”. Trata-se de um gráfico onde são representados os pares $(X, Y)_{ii}$, $i = 1, 2, \dots, n$, onde n = número total de observações.

Segundo SIQUEIRA (1983), a análise de correlação é uma ferramenta importante para as diferentes áreas do conhecimento, não somente como resultado final, mas como uma das etapas para a utilização de outras técnicas de análise. É comum o uso do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, por ser o mais conhecido, mas em muitas situações isto se dá sem que se tenha a clareza de que este coeficiente mede a relação linear entre duas variáveis.

Segundo LIRA (2004), alguns métodos de uso mais restrito, tais como o Coeficiente de Correlação Bisserial, Ponto Bisserial e o Tetracórico, são pouco abordados nas literaturas clássicas de Estatística. Em estudos que envolvem duas ou mais variáveis, como neste trabalho, é comum o interesse em conhecer o relacionamento entre elas, além das estatísticas descritivas normalmente calculadas.

Com base nos trabalhos de BUNCHFT(1999) e BRYANT (1960) as figuras 1, 2, 3 e 4 representam o “diagrama de dispersão” entre as variáveis X e Y. O método que permite estudar as relações ou associações é conhecido como análise de correlação. Esta análise mostra o grau de relacionamento entre as variáveis, fornecendo um número, indicando como as variáveis variam conjuntamente. Não há a necessidade de definir as relações de causa e efeito, ou seja, qual é a variável dependente e a independente. Os diagramas de dispersão a seguir mostram os tipos de correlações entre duas variáveis.

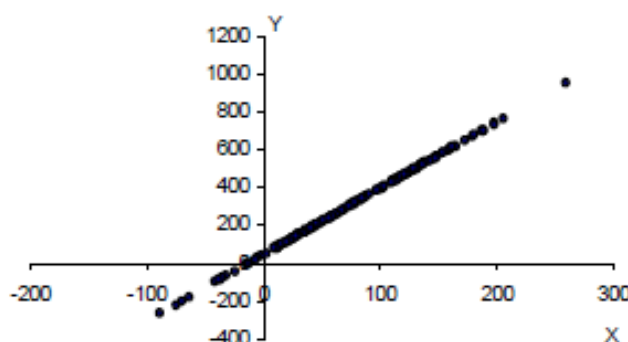


FIGURA 1: CORRELAÇÃO LINEAR POSITIVA ENTRE X E Y FONTE: BUNCHFT (1999)

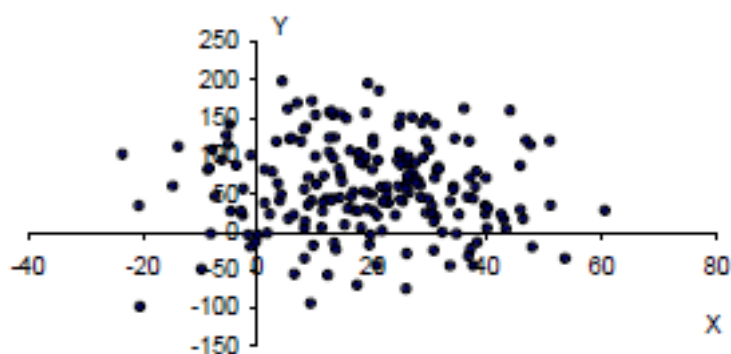


FIGURA 2: CORRELAÇÃO LINEAR NULA ENTRE X E Y. FONTE: BUNCHFT (1999)

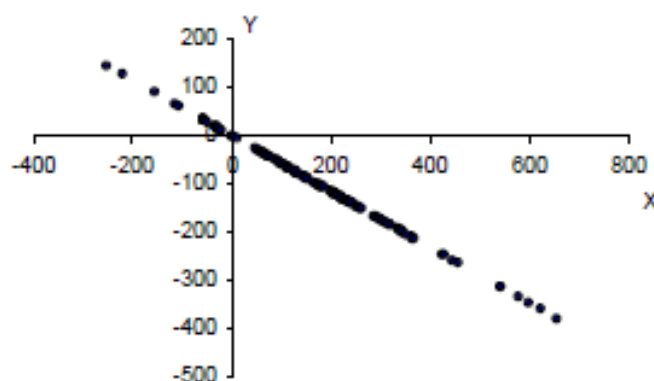


FIGURA 3: CORRELAÇÃO LINEAR NEGATIVA ENTRE X E Y. FONTE: BUNCHFT (1999)

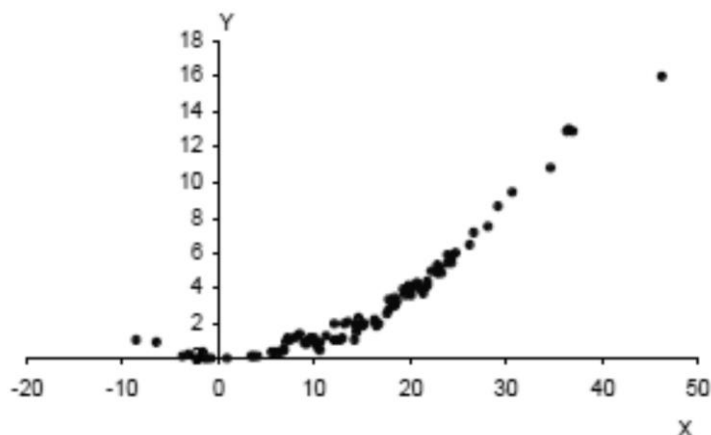


FIGURA 4: CORRELAÇÃO NÃO-LINEAR ENTRE X E Y FONTE: BUNCHFT (1999)

Segundo LIRA (2004), quando a análise envolve grande número de variáveis e há interesse em conhecer a correlação duas a duas, é comum a construção de uma matriz de correlações.

2.3.4. SUPOSIÇÕES BÁSICAS PARA A UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Segundo PEARSON (1892 e 1935), as suposições básicas para a utilização deste coeficiente são:

- O relacionamento entre as duas variáveis é linear, ou seja, é adequado para medir o relacionamento linear;
- As variáveis envolvidas são aleatórias e são medidas, no mínimo, em escala intervalar.
- As duas variáveis têm uma distribuição normal bivariada conjunta, o que equivale a dizer que para cada X dado, a variável Y é normalmente distribuída. Esta hipótese é necessária para fazer inferências estatísticas (teste de hipótese e intervalo de confiança), sendo dispensável quando se tratar de estudos amostrais.

2.3.5. INTERPRETAÇÃO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Segundo LIRA (2004), na prática, o coeficiente (ρ^{\wedge}) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre as variáveis X e Y, com a forma $Y^{\wedge} = \alpha^{\wedge} + \beta^{\wedge} X$, onde α^{\wedge} e β^{\wedge} são constantes. Segundo MIYATA (2014) a interpretação do coeficiente quando $\rho^{\wedge}=1$ é de que existe correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y. A correlação é linear perfeita positiva quando $\rho^{\wedge} = 1$ e linear perfeita negativa quando $\rho^{\wedge} = -1$. Quando se tem $\rho^{\wedge} = 0$, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y, conforme mostrado nos gráficos 1,2,3 e 4.

Entretanto, na prática ocorrem diferentes valores de (ρ^{\wedge}). A interpretação do valor de ρ^{\wedge} depende muito dos objetivos de sua utilização e as razões pelas quais este é calculado. Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003, p. 90), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

- se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- se $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$, existe forte correlação linear;
- se $0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Segundo LIRA (2004) o coeficiente de correlação de X e Y é o mesmo que Y e X. O valor absoluto do coeficiente ρ^{\wedge} não é afetado por qualquer transformação linear de X ou Y. Para ANDERBERG (1973), o coeficiente de correlação ρ^{\wedge} é invariante frente às transformações lineares e quase-invariante em relação às transformações monotônicas. Outra forma de interpretar o coeficiente de correlação é em termos de $\rho^{\wedge 2}$, denominado Coeficiente de Determinação ou de Explicação. Quando multiplicado por 100, o $R^{2^{\wedge}} \rho^{2^{\wedge}} =$ fornece a percentagem da variação em Y (variável dependente), que pode ser explicada pela variação em X (variável independente), ou seja, o quanto de variação é comum às duas variáveis.

2.3.6. FATORES QUE AFETAM O COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Segundo SIEGEL (1975) dentre os fatores que afetam a intensidade do coeficiente de correlação, bem como a precisão ao estimar a correlação populacional ρ , podem ser citados o tamanho da amostra, principalmente quando é pequena, os *outliers* (valores discrepantes), a restrição da amplitude de uma das variáveis ou de ambas e erros de medidas.

Segundo LIRA (2004), os *outliers* afetam o coeficiente de correlação, principalmente quando a amostra é pequena. Quando a amostra é grande, eles têm menor efeito sobre o coeficiente de correlação. Estes podem ser detectados na análise exploratória de dados, através de teste e gráficos próprios.

2.3.7. DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Conforme MOOD (1974), o coeficiente de correlação $\hat{\rho}$, estimado a partir da amostra de tamanho n , proveniente de distribuição normal bivariada (Figura 5) com $\rho = 0$, é distribuído em função da densidade de probabilidade dada por:

$$f(\hat{\rho}) = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(n-1)\right](1-\hat{\rho}^2)^{\frac{n-4}{2}}}{\Gamma\left[\frac{1}{2}(n-2)\right]\sqrt{\pi}}$$

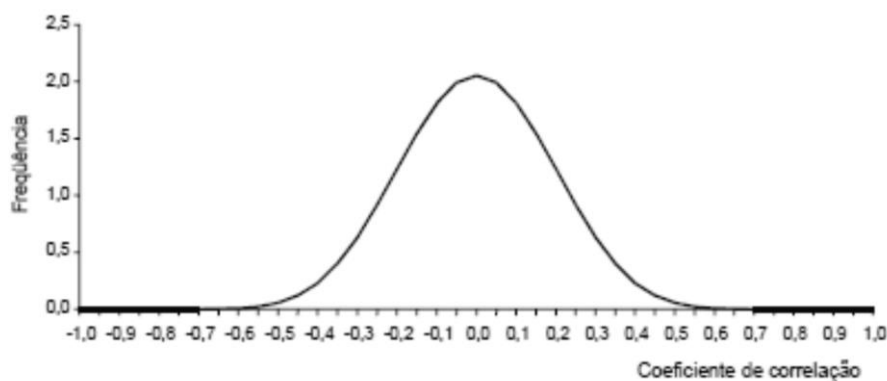


FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA $P = 0$. FONTE: BUNCHAFT (1999)

2.3.8. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

Segundo MOOD (1974), SILVEIRA (1999) e LIRA (2004), o coeficiente de Correlação de Spearman é o mais antigo e também o mais conhecido para variáveis mensuradas em nível ordinal, chamado também de Coeficiente de Correlação por Postos de Spearman, designado “rho” e representado por ρ_s . Quando as amostras são pequenas, este método deve ser usado, segundo GUILFORD (1950), em substituição ao Coeficiente de Correlação de Pearson. É conveniente para número de pares menor que 30 e quando os dados já estão ordenados. Para as variáveis cuja mensuração é em nível ordinal, pode-se citar os Coeficientes de Correlação Ordinal de Spearman e Postos de Kendall. Segundo BUNCHART e KELLNER (1999), as correlações ordinais não podem ser interpretadas da mesma maneira que as correlações de Pearson. Inicialmente, não mostram necessariamente tendência linear, mas podem ser consideradas como índices de monotonicidade, ou seja, para aumentos positivos da correlação, aumentos no valor de X correspondem a aumentos no valor de Y e para coeficientes negativos ocorre o oposto. O quadrado do índice de correlação não pode ser interpretado como a proporção da variância comum às duas variáveis.

2.3.9. ESTIMADOR DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN E SIGNIFICÂNCIA

O estimador do Coeficiente de Correlação de Spearman foi derivado a partir do estimador do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, conforme apresentado em SIEGEL (1975).

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

onde: ρ_s é o Coeficiente de Correlação de Spearman;

n é o número de pares de ordenações.

Segundo LIRA (2004) quando a seleção dos elementos que compõem a amostra é feita de forma aleatória, a partir de uma população, é possível determinar se as variáveis em estudo são associadas, na população. Ou seja, é possível testar a hipótese de que as duas variáveis estão associadas na população.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

Os métodos e os materiais escolhidos para este trabalho foram separados em etapas de acordo com o Fluxograma Geral do Tratamento de Dados (Figura 6). As Etapas iniciais de trabalho consistiram na Revisão Bibliográfica e na seleção da área de estudo, seguido da coleta de amostras e aquisição de dados. Em seguida foram realizadas as análises petrográficas e os ensaios físico-mecânicos compilados em tabelas síntese de informação (Apêndices I e II). Por fim, após a consolidação do banco de dados realizaram-se os cálculos de correlação, os diagramas de dispersão e a interpretação dos resultados.

3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica envolveu a compreensão das variáveis inerentes ao processo. A busca de informações dividiu-se em três linhas gerais. Primeiramente optou-se pela revisão bibliográfica no âmbito dos litotipos estudados. Os trabalhos que abrangem os basaltos da Província Magmática do Paraná são alvo constante de estudo por diversos autores, sendo que os trabalhos mais recentes apontam para uma heterogeneidade de litotipos e levantam distintas teorias sobre a gênese dessas rochas.

A segunda linha objetivou a compreensão detalhada do processo de execução de ensaios físico-mecânicos. Apesar dos ensaios estarem padronizados segundo normas técnicas nacionais e internacionais, o conhecimento do processo analítico contribui para a determinação das possíveis variáveis que interfiram na análise da correlação. Sabendo-se que há diversos fatores que podem influenciar o resultado final de um ensaio é possível confirmar a hipótese de trabalho ou avaliar possíveis erros.

Por fim, a terceira linha, que exige maior atenção, trata do cálculo de correlação estatística. Na escolha do método de correlação estatística focou-se no estudo de métodos matemáticos consagrados na área da estatística e da geologia, os quais realizaram correlações semelhantes a esta, porém com outras variáveis.

FLUXOGRAMA GERAL DO TRATAMENTO DE DADOS

Revisão Bibliográfica / Seleção da área de estudo



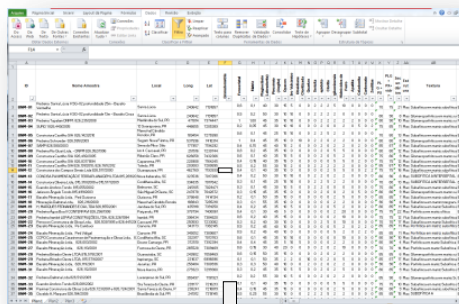
Coleta de Amostras / Aquisição de dados



Realização de Análises Petrográficas e Ensaios Físico-Mecânicos



Confecção do Banco de Dados



Análise Estatística e Interpretação dos Resultados

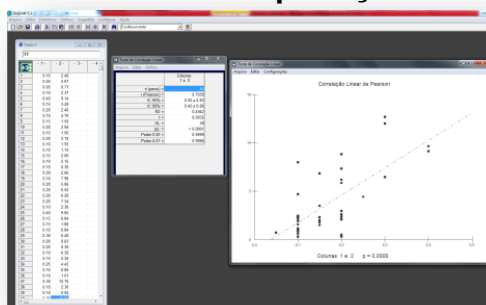


Figura 6 - FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DE DADOS.

3.2. AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS E LAUDOS – BANCO DE DADOS

Empresas de mineração, que atuam na área de estudo, gentilmente cederam informações de ordem: i) geológica, no posicionamento espacial e geológico das amostras; ii) petrográfica, incluindo amostras de mão, lâminas petrográficas e testemunhos de sondagem; e iii) laboratorial, com o fornecimento dos laudos de ensaios físico-mecânicos. Salienta-se que o auxílio destas empresas restringiu-se aos itens citados.

Durante as fases iniciais do trabalho pode-se aferir em campo as informações fornecidas pelas empresas e a qualidade dos dados. Os levantamentos de campo consistiram na descrição em campo de amostras e frentes extrativas de basalto na região de Cascavel, Foz do Iguaçu, Maringá e Chapecó. Também durante o início do trabalho se realizou a visita técnica ao laboratório da BIANCO – Tecnologia em Concreto a fim de se observar a realização de ensaios físico-mecânicos, conforme Figuras 7 e 8.

Ao todo foram obtidas 46 amostras com lâminas petrográficas, seus respectivos laudos de ensaios físicos-mecânicos e descrição geológica,



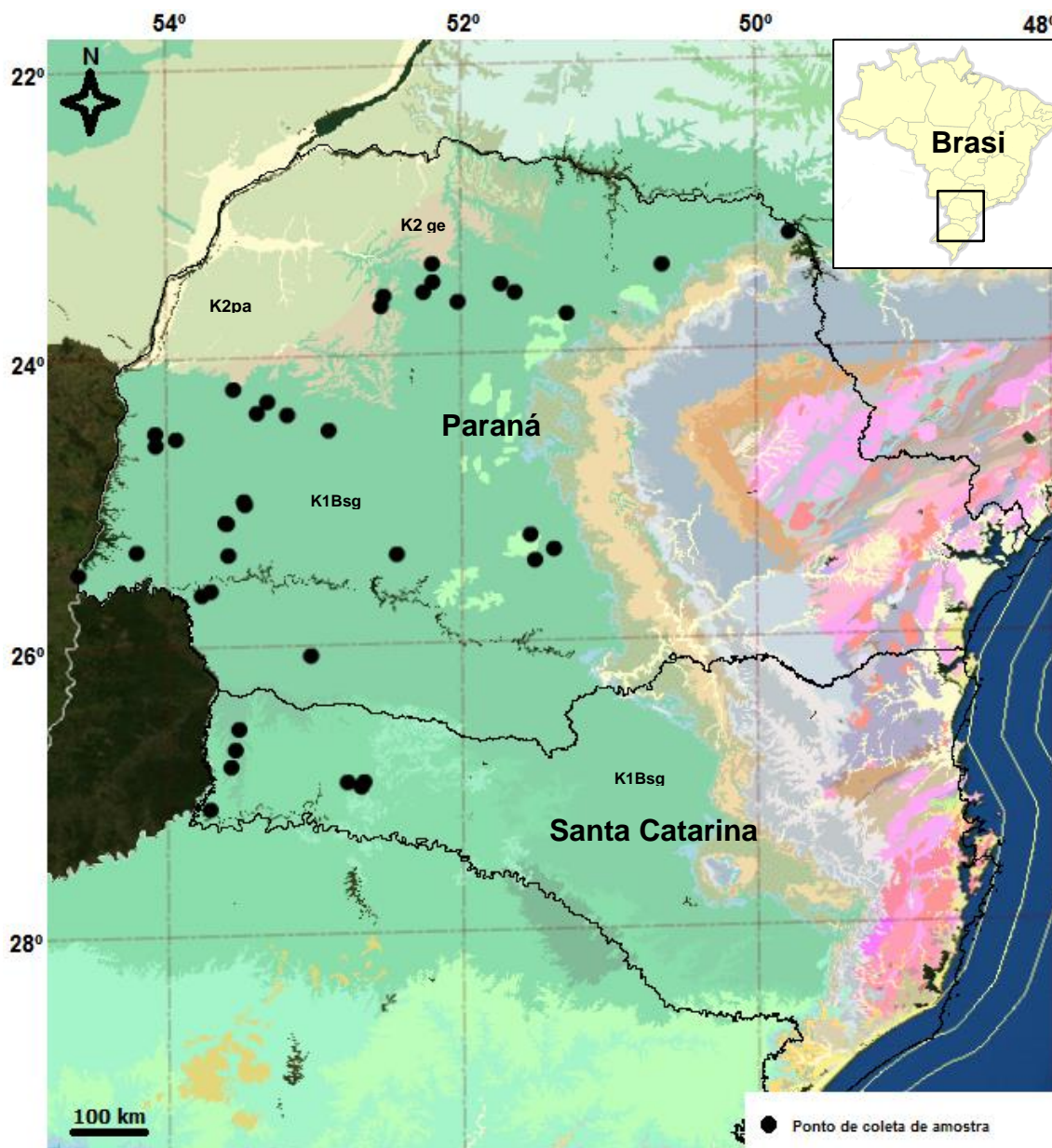
FIGURA 7 - INSTALAÇÕES DO LABORATÓRIO BIANCO - TECNOLOGIA EM CONCRETO. SECAGEM DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA.



FIGURA 8 - INSTALAÇÕES DO LABORATÓRIO BIANCO - TECNOLOGIA EM CONCRETO. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIO DE DURABILIDADE.

3.3. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho abrange a região de ocorrência de rochas basálticas nos estados do Paraná e Santa Catarina. A análise da distribuição espacial dos dados cedidos por empresas parceiras permitiu a delimitação da área de estudo nas porções com maior densidade amostral. Os fatores relevantes para a escolha da área constituem-se no posicionamento espacial, próximo à maior concentração de amostras, e na descrição geológica dos litotipos. Somente foram consideradas amostras originalmente classificadas como basaltos, sendo descartadas amostras descritas como diabásios e dacitos. Amostras pontuais desses litotipos fora da região de estudo ou de outros Estados também foram descartadas. Todas as amostras descritas são de basaltos classificados genericamente segundo os trabalhos da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais-CPRM (2004 e 2013). Na Figura 9 encontra-se um mapa esquemático com a distribuição espacial das amostras.



LEGENDA LITOESTRATIGRÁFICA

MESOZÓICO CRETÁCEO



Grupo Caiuá :Formação Goio-Erê (K2 ge) arenito fino a muito fino, quartzoso a subarcoseano, cor marrom-avermelhada e cinza-arroxeadada, mineralogicamente maduro e texturalmente submaturo, cimentação carbonática, camadas tabulares; intercala arenito siltico-argiloso e brecha; ambiente continental desértico: dunas eólicas. **Formação Rio Paraná (K2pa)** arenito quartzoso a subarcoseano, marrom avermelhado, granulação fina a média, raras camadas de arenito médio a grosso; mineralogicamente maduro a supermaturo e boa maturidade textural; ambiente continental desértico: eólico.



Grupo São Bento: K1B sg Formação Serra Geral(sg): basalto e basalto andesito tholeítico; riolito e riodacito; intercala camadas de arenito, litarenito e arenito vulcânico.



Formação Botucatu J3K1bt : arenito fino a grosso de coloração avermelhada, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets de estratificações cruzadas de grande porte; ambiente continental desértico: depósitos de dunas eólicas.

FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS NA ÁREA DE ESTUDO. FONTE: SIGMINE 2014 BASE GEOLÓGICA: CPRM- 2013.

3.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA

No presente trabalho buscou-se a utilização de procedimentos clássicos de descrição de lâminas, com o objetivo de se obter informações petrográficas cujos dados transformaram-se em variáveis para a correlação estatística.

Historicamente, a petrografia no sentido moderno, foi fundada no final do século XVIII por A.G. Werner (1749-1817) cujos estudos foram baseados em observações a olho nu e lupa, e resultaram inicialmente em descrições parciais e limitadas. Já no meio do século XIX, com a invenção do microscópio as técnicas analíticas puderam avançar provocando mudanças nos métodos de descrição das rochas. Com o auxílio de técnicas de laminação, as quais consistem na confecção de seções de rocha com espessura aproximada de 30 μm , e da invenção do polarizador por W. Nicol, em 1928, a petrografia pode evoluir até os conceitos atuais.

A coleta das amostras destinadas à análise petrográfica respeitou as condicionantes geológicas de cada local. As áreas de coleta (apêndice III) de amostras consistem em pedreiras distribuídas no Terceiro Planalto dos estados do Paraná e Santa Catarina. As pedreiras de extração de basalto consistem em minas a céu aberto com migração lateral da frente de lavra na forma de bancadas. De modo geral, o avanço da lavra respeita a geometria tabular dos derrames basálticos, podendo haver em cada derrame um ou mais taludes de lavra. Normalmente as pedreiras são constituídas de dois ou mais derrames, onde o derrame superior é lavrado e os derrames inferiores são preservados devido à má qualidade tecnológica do material rochoso no uso para construção civil. As Figuras 11, 12 e 13 ilustram o *layout* de uma pedreira e a geometria dos taludes.

Os métodos de lavra dos corpos basálticos destas minas tendem a respeitar os contatos geológicos de cada derrame, descartando no processo produtivo as porções de rocha alterada, normalmente, encontradas nas feições geológicas de topo e brechas.

Seguindo os conceitos de estruturação interna de derrames tabulares de MARTIN *et al.* (2005), as amostras coletadas em campo e destinadas à confecção de seções delgadas são provenientes dos núcleos dos derrames onde ocorre a extração. Ao todo estão descritas macro e microscopicamente 46 amostras coletadas em campo.

A caracterização petrográfica dos basaltos da Província Magmática do Paraná, deste trabalho, foi realizada por meio da descrição microscópica seguindo a norma 006 de 1994 do DNER-RE. A normativa DNER 006/94 estabelece o método de análise petrográfica, tanto microscópica como macroscópica, de materiais rochosos utilizados na construção civil.



FIGURA 10 - ANÁLISE PETROGRÁFICA. DESCRIÇÃO DE LÂMINAS PETROGRÁFICAS EM MICROSCÓPIO BINOCULAR DE LUZ TRANSMITIDA OLÍMPUS BX41 AO LADO DE CONTADOR DE PONTOS A SER ACOPLADO AO EQUIPAMENTO.

A escala de trabalho abrange o estudo macroscópico, em amostras de mão, e microscópico em lâminas petrográficas. A análise macroscópica seguiu os parâmetros estipulados pela normativa DNER 006/94, em que se objetivou a descrição com base nas características gerais, tais como: cor da rocha, granulação, composição mineral, textura, estrutura, processos e minerais de alteração e feições distintivas, como a ocorrência de óxidos e hidróxidos em fraturas.

As lâminas petrográficas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação Petrográfica (LAMIN) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná e foram descritas em microscópio petrográfico da marca Olympus modelo BX41, de luz transmitida polarizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) da UFPR, com ênfase no levantamento dos dados passíveis de correlação. Completando a descrição, as rochas foram classificadas segundo os critérios de LE MAITRE (1989). Fotomicrografias foram obtidas a fim de ilustrar e comprovar as descrições minerais.

Contudo, a análise petrográfica focou na descrição e quantificação das características que puderam se tornar variáveis de correlação, sendo elas, a granulometria do fenocristal e matriz e porcentagem modal de plagioclásio, piroxênio, vidro vulcânico, minerais opacos (metálicos), obsidiana cloritizada, quartzo, sericita, epidoto, clorita, argilominerais, hidróxidos de ferros, apatita, celadonita, carbonatos e zeólitas.

A maior preocupação da descrição petrográfica foi inicialmente a determinação da composição mineral e estimativa visual das respectivas porcentagens. Com o intuito de minimizar os erros de estimativa visual, os minerais foram descritos em intervalos de variação de 5%. Nos casos onde a presença de determinado mineral era descrita como traços de ocorrência, ou seja, inferior a 5% e superior a 0%, adotou-se o valor percentual de 2% a fim de viabilizar a futura correlação estatística.



FIGURA11 - VISTA PANORÂMICA DA FRENTE DE EXTRAÇÃO – PEDREIRA BRITAFOZ, FOZ DO IGUAÇU, PR.



FIGURA12 - ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO NO NÚCLEO DO DERRAME BASÁLTICO.FIGURA13 - VISTA DE DETALHE DOS TALUDES DA PEDREIRA



FIGURA 14 - TESTEMUNHOS DE SONDAGEM PARA ANÁLISE PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA DOS DIVERSOS TIPOS DE BASALTO. AMOSTRA BNM-01

Macroscopicamente as amostras coletadas (figuras 14 e 15) são basaltos de cor cinza escuro a preto podendo apresentar tonalidades por vezes esverdeadas, arroxeadas e avermelhadas em decorrência dos processos de alteração mineral. Dentre as amostras predomina a estrutura maciça, entretanto, também são observadas estruturas de fluxo e amigdaloides. A granulação é fina a muito fina, formada por microfenocristais de plagioclásio ripiformes, envolvidos por matriz constituída por plagioclásio e piroxênio comumente em cristais anédricos, e minerais metálicos. Comumente as amostras de mão estão fraturadas e/ou preenchidas por veios de vidro vulcânico.

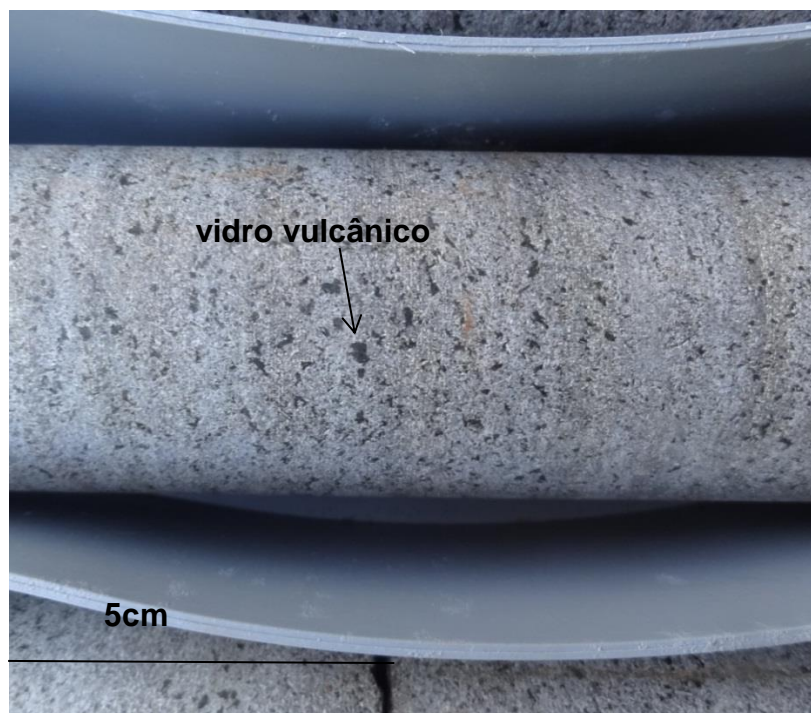


FIGURA 15 - TESTEMUNHOS DE SONDAGEM PARA DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA. DESTAQUE PARA OS AGREGADOS DE VIDRO VULCÂNICO INTERSTICIAIS A MATRIZ DA ROCHA. AMOSTRA BNM-036.

Microscopicamente os basaltos são constituídos pelo predomínio de plagioclásio, piroxênio, vidro vulcânico e opacos (magnetita). As porcentagens modais de plagioclásios variam de 30% a 55% por determinados oticamente como labradorita. Estes minerais têm hábito prismático ou subprismático na matriz e quando em fenocristais têm hábito ripiforme. Os fenocristais ocorrem geralmente em porcentagem inferior a 15% na rocha e podem ser de plagioclásio ou piroxênio e apresentar inclusões de piroxênio e outros plagioclásios (figura 16,17,18 e 19). Comumente estão fraturados e sob processo de saussuritização (figura19). Os piroxênios ocorrem em porcentagens de 25% a 45% geralmente possuem hábito anédrico a subédrico preenchendo espaços entre os cristais de plagioclásio. Os basaltos amostrados ocorrem com predomínio de textura subafírica em matriz subofítica, em decorrência da porcentagem inferior a 15% de fenocristais e da predominância de plagioclásio na matriz em relação ao piroxênio. Também ocorrem texturas glomeroporfirítica em matriz subofítica e porfirítica em matriz ofítica. A granulometria da rocha possui matriz entre 0,05mm e 0,5mm e fenocristais variando entre 0,1mm a 1mm, definindo a granulação fina a muito fina destas rochas.



FIGURA 16 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO, PEDREIRA BRITAFOZ. NICÓIS CRUZADOS - FENOCRISTAL DE LABRADORITA POIQUILÍTICO COM INCLUSÕES DE PIROXÊNIO. AMOSTRA BNM-36

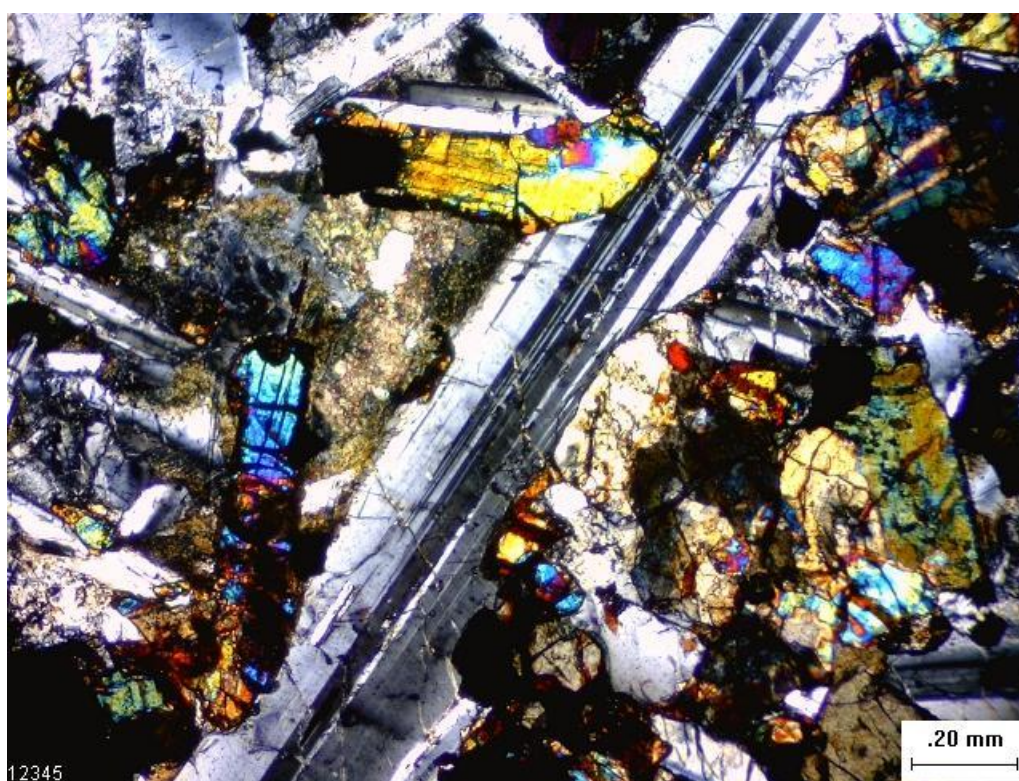


FIGURA 17 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO, PEDREIRA BRASILÂNDIA DO SUL, PR. NICÓIS CRUZADOS: FENOCRISTAL PRISMÁTICO DE LABRADORITA, COM SAUSSURITIZAÇÃO INCIPIENTE NAS BORDAS DO MINERAL. AMOSTRA BNM-35.

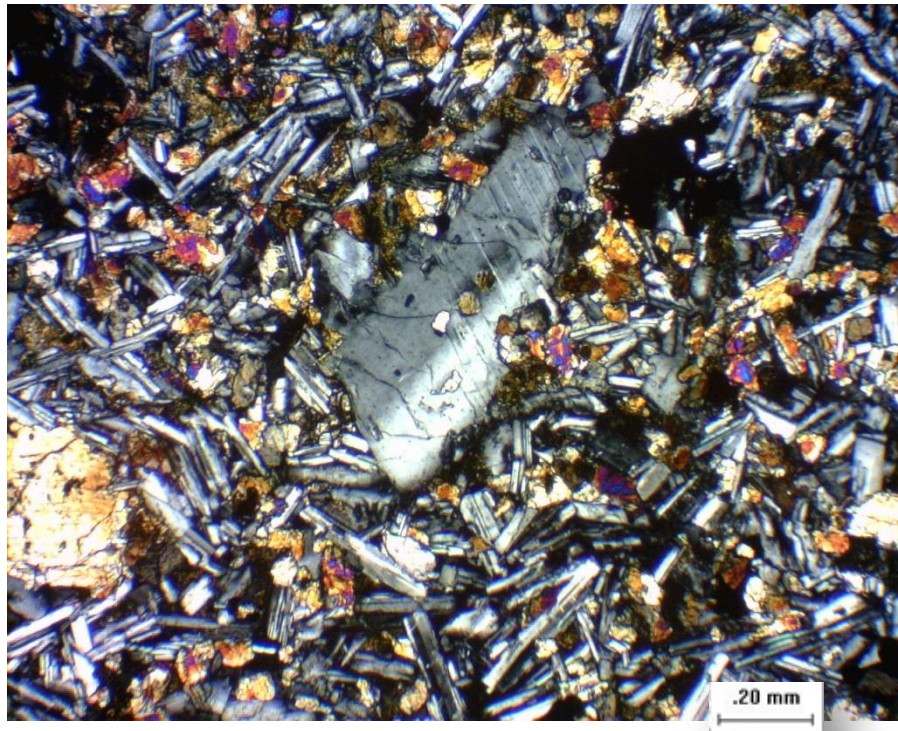


FIGURA 18 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO, PEDREIRA SANTA LÚCIA. NICÓIS CRUZADOS: FENOCRISTAL DE LABRADORITA (AO CENTRO) COM INCLUSÕES DE AUGITA, ENVOLVIDO PELA MATRIZ SUBOFÍTICA. BNM-01

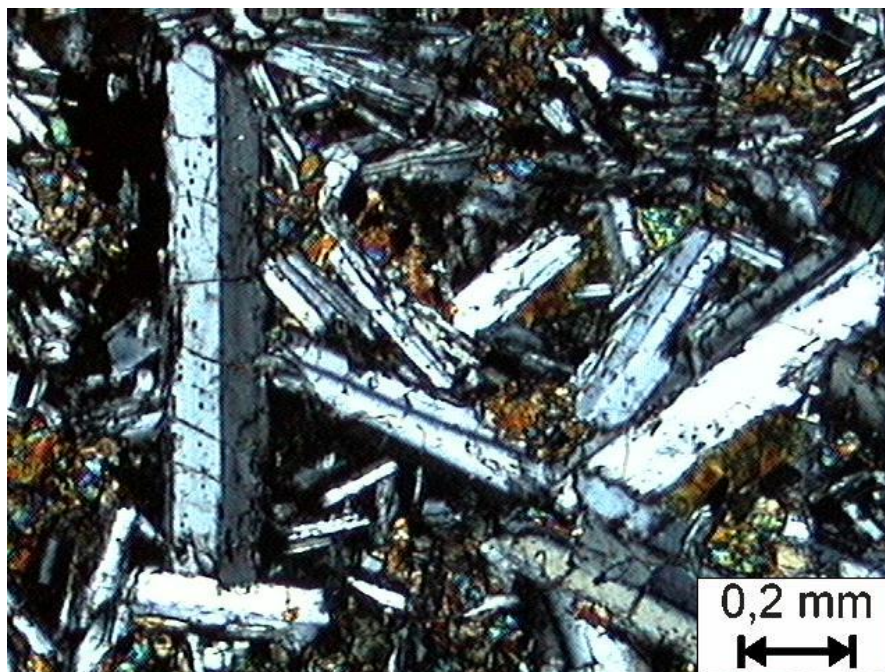


FIGURA 19 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO. NICÓIS CRUZADOS: FENOCRISTAIS DE LABRADORITA COM FRATURAS PREENCHIDAS POR HIDRÓXIDOS DE FERRO, COM SAUSSURITIZAÇÃO INCIPIENTE E FORMAÇÃO DE FINOS AGREGADOS DE EPIDOTO. AMOSTRA BNM-38

O vidro vulcânico (Figura 20 e 25) presente nos basaltos amostrados não ultrapassa a porcentagem de 10% na forma de agregados minerais anédricos. Por vezes ocorre na forma de agregados minerais, intersticiais à matriz da rocha com concentrações em porções específicas.

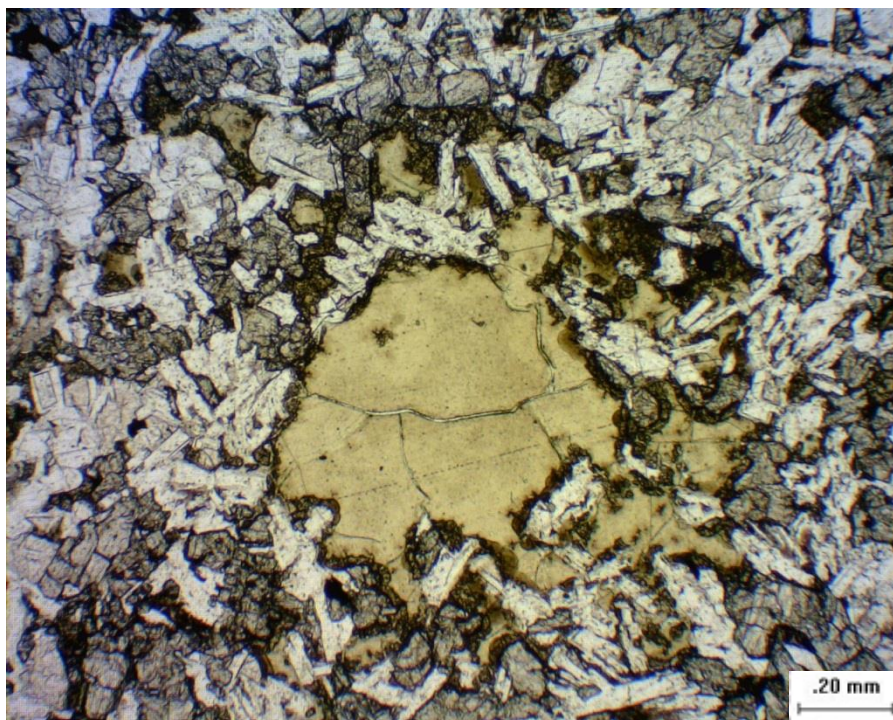


FIGURA 20 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO, PEDREIRA PÉROLA ALTO JORDÃO, GUARAPUAVA, PR / NICÓIS PARALELOS: AGREGADO DE VIDRO VULCÂNICO INTERSTICIAL AOS MINERAIS DA MATRIZ DA ROCHA. AMOSTRA BNM37.

Associada a esta assembleia mineral ocorrem minerais secundários podendo ser o resultado de processos de alteração hidrotermal ou intempérica. Ocorrem em porcentagens inferiores a 20% hidróxidos de ferro, epidoto, clorita, celadonita, quartzo, argilominerais, apatita, sericita, zeólita, e carbonatos. O hábito é anédrico, fibroso, ou subédrico. Os argilominerais, a celadonita, o quartzo (figura 24) e a zeólita, geralmente preenchem amígdalas e cavidades. Os argilominerais ocorrem em agregados de finos cristais anédricos castanhos, intersticiais à matriz da rocha. Os hidróxidos de ferro normalmente são produto de alteração dos minerais opacos (magnetita) e do piroxênio, podem preencher fraturas (figura 22 e 23) e dar a aparência avermelhada à rocha nas amostras de mão. A cloritização da obsidiana (Figura 21) ocorre pela alteração do vidro vulcânico. Obsidiana cloritizada ocorre em agregados verdes, fibrorradiados,

intersticiais aos minerais da matriz da rocha, também ocorrem pela desvitrificação geralmente associada à celadonita. Epidoto e sericita ocorre em finos agregados, formados por saussuritização de cristais de plagioclásio.

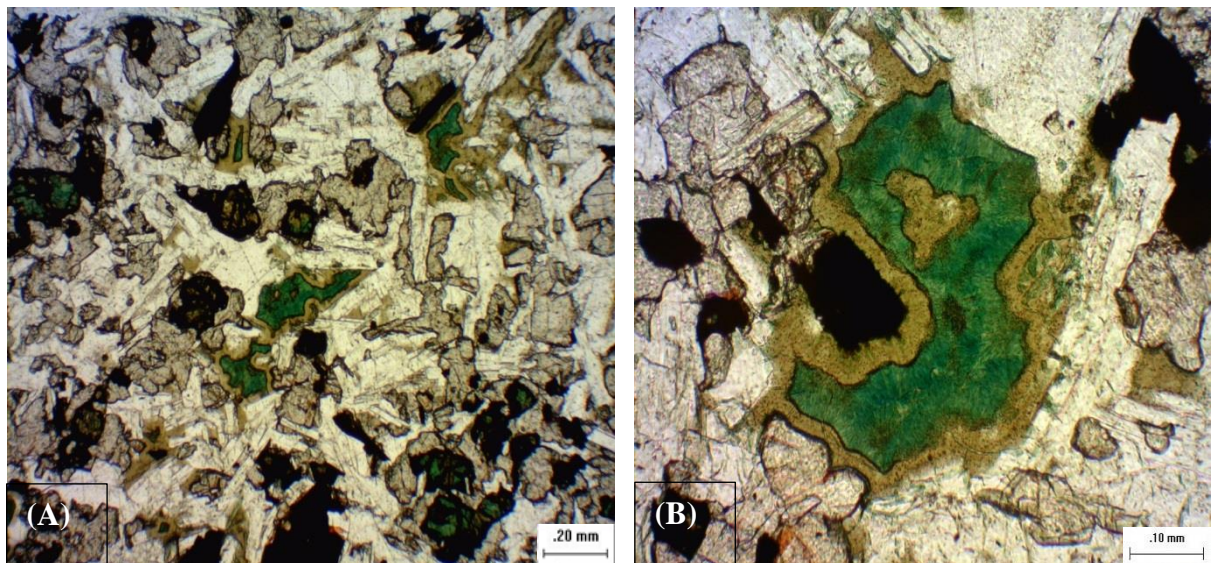


FIGURA 21 - (A) FOTOMICROGRAFIA. NICÓIS PARALELOS: CAVIDADES IRREGULARES (AO CENTRO) PREENCHIDAS POR VIDRO VULCÂNICO NAS BORDAS E CELADONITA NO CENTRO. AMOSTRA BNM- 41. (B) NICÓIS PARALELOS: AGREGADO FIBRORRADIADO DE CELADONITA, ENVOLVIDO POR OBSIDIANA CLORITIZADA AMOSTRA .BNM-41.

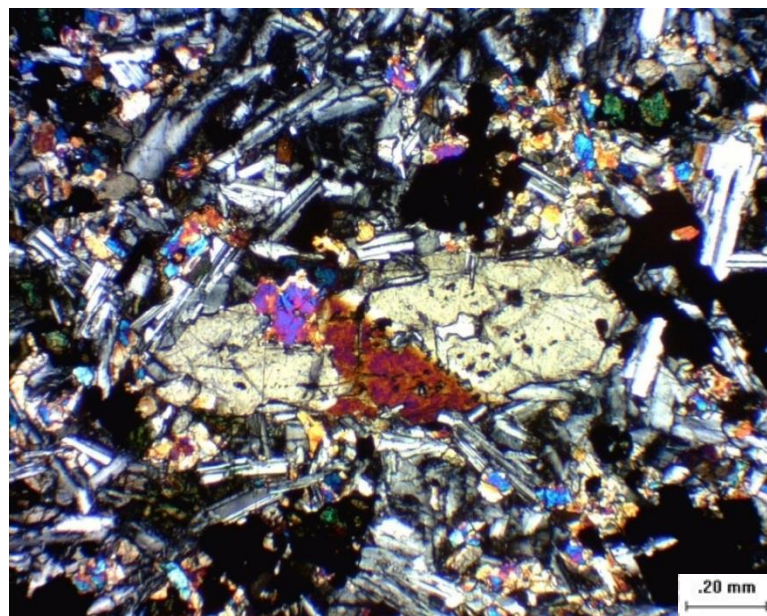


FIGURA 22 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO. NICÓIS CRUZADOS: MICROFENOCRISTAL DE AUGITA COM FRATURAS PREENCHIDAS POR HIDRÓXIDOS DE FERRO. AMOSTRA BNM41.

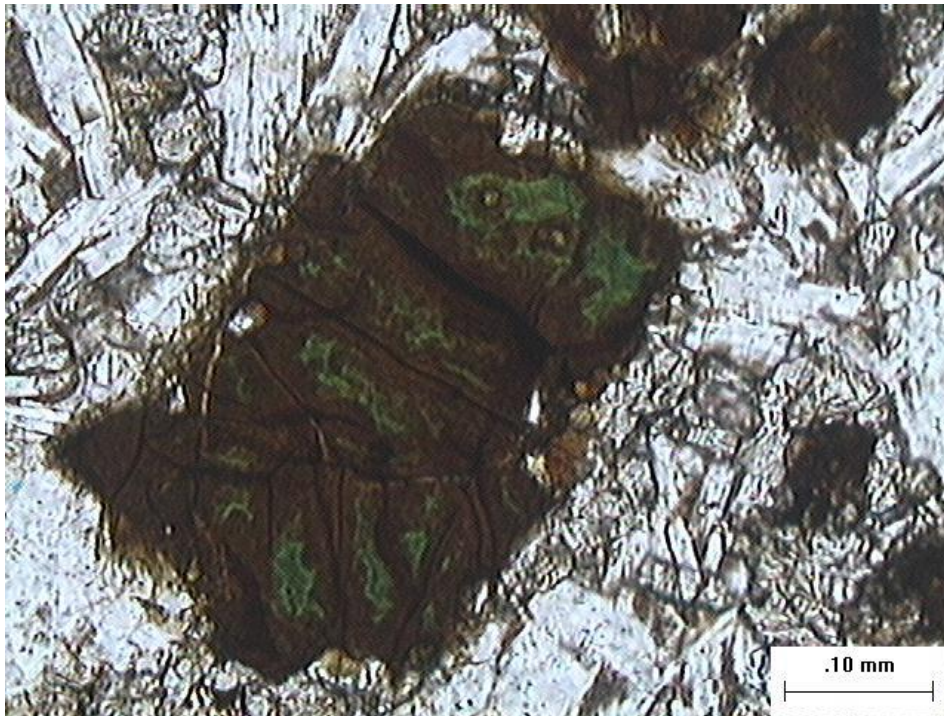


FIGURA 23 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO. NICÓIS PARALELOS: AGREGADO DE VIDRO VULCÂNICO CLORITIZADO E OXIDADO, COM FRATURAS PREENCHIDAS POR HIDRÓXIDOS DE FERRO. BNM-15



FIGURA 24 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO. NICÓIS CRUZADOS: AMÍGDALA PREENCHIDA POR QUARTZO NAS BORDAS E ARGILOMINERAIS NO CENTRO. AMOSTRA BNM-27.

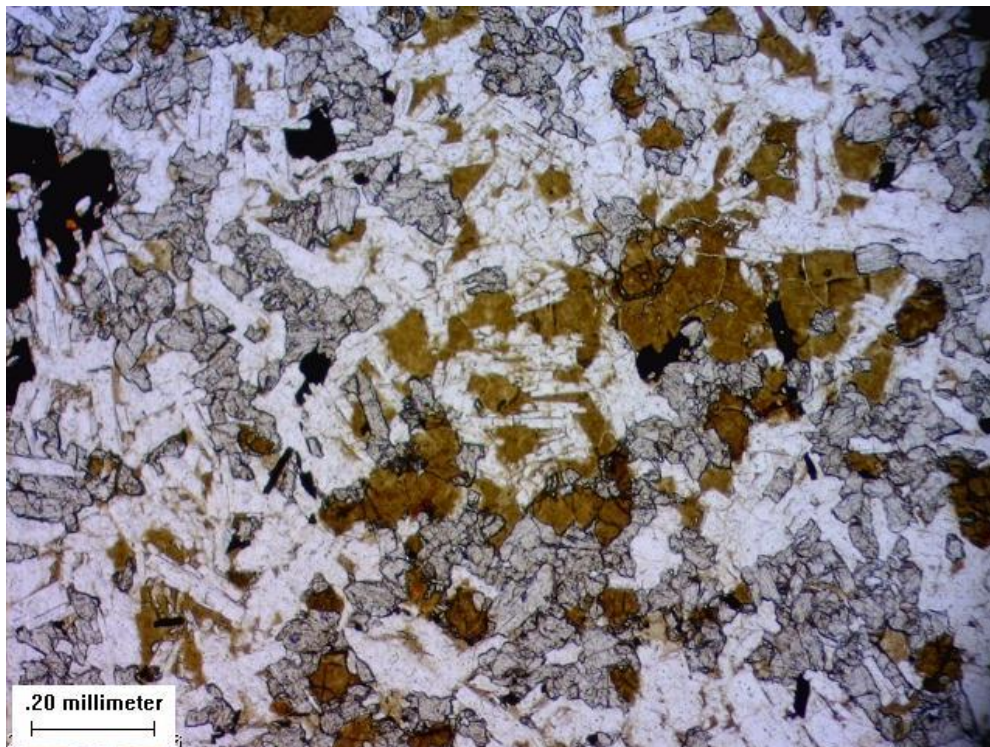


FIGURA 25 - FOTOMICROGRAFIA DE BASALTO. NICÓIS PARALELOS: AGREGADOS DE VIDRO VULCÂNICO (CASTANHOS), INTERSTICIAIS AOS MINERAIS DA MATRIZ. AMOSTRA BNM-32.

3.4.4.1. TESTE ESTATÍSTICO DA ACURÁCIA DAS ESTIMATIVAS VISUAIS

A fim de validar as estimativas visuais e minimizar os erros de determinação da porcentagem mineral e granulometria optou-se pela seleção de dez amostras para as quais foram estimadas as modas da porcentagem e granulometria. Em seguida utilizou-se o equipamento de contagem de pontos acoplado ao microscópio petrográfico e determinaram-se quantitativamente os valores em porcentagem de cada mineral das lâminas.

O método consistiu na contagem (figura 26) de 1.500 pontos por lâmina petrográfica com o auxílio de um contador de pontos o qual, automaticamente, calculou a porcentagem correspondente de cada mineral da amostra.

Os resultados obtidos conforme apresentados na Tabela I entre a estimativa visual e a contagem de pontos foram correlacionados estatisticamente pelo método de Correlação Linear de Pearson no intuito de se determinar o coeficiente de correlação entre elas. Os resultados obtidos para a porcentagem visual demonstram grau de correlação de no mínimo 0,89 entre as estimativas visuais e o método de contagem de pontos.

Na análise granulométrica realizou-se a medição com escala de micrométrica de 100 cristais em cada lâmina. As modas determinadas foram correlacionadas aos valores determinados pela estimativa visual. Os resultados obtidos (Tabela II) indicam coeficiente de correlação positiva linear para os fenocristais de 0,9947 e de 0,9232 para a granulometria da matriz.

Os diagramas de dispersão (figuras 27 e 28) acompanham a tendência de forte correlação linear entre as amostras tanto para a granulometria quanto para a porcentagem mineral.

Compreende-se que o método de contagem de pontos é mais preciso que a estimativa visual, entretanto pode ser aceito para determinação da porcentagem mineral. A adoção do percentual de 2% para os minerais descritos como traços acompanha a tendência de que há a possibilidade de emprego do método para este trabalho.

Portanto, ficou comprovado que o procedimento do método de estimativa visual assegura a qualidade dos resultados, podendo ser determinadas as estimativas visuais de granulometria e porcentagem mineral para o uso de correlação estatística.



FIGURA 26 - DESTAQUE DO CONTADOR DE PONTOS ACOPLADO AO MISCROCÓPIO PETROGRÁFICO OLIMPUS -BX41

Teste estatístico para a Porcentagem Mineral															
Estimativa Visual da porcentagem mineral (%)															Coef de Correlação Linear Pearson
Amostra	Plagioclásio (Labradorita)	Piroxênio (Augita)	Opacos	Vidro Vulcânico	Obsidiana Cloritizada	Quartzo	Sericita	epidoto	Clorita	Argilominerais	Hidróxidos de Ferro	Apatita	Celadonita	Carbonato	
BNM-01	40	30	15	5	0	0	2	2	2	5	10	0	0	0	
BNM-02	50	30	10	10	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	
BNM-03	45	35	10	10	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	
BNM-04	45	30	10	10	0	0	0	2	0	0	2	0	5	0	
BNM-05	45	25	15	10	0	0	2	2	5	2	2	0	0	0	
BNM-06	45	35	10	0	10	0	2	2	0	2	2	0	0	0	
BNM-07	45	40	15	2	0	0	0	2	0	2	2	0	2	0	
BNM-08	45	35	10	0	0	0	0	2	0	5	5	0	0	0	
BNM-09	40	35	15	5	0	0	0	2	0	5	2	0	0	0	
BNM-10	40	35	15	0	0	0	0	0	0	5	5	0	2	0	
Contagem de Pontos da porcentagem mineral (%)															
BNM-01	42	28	13	4	0	0	1	2	1	3	7	0	0	0	
BNM-02	51	29	7	8	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0	
BNM-03	46	33	6	8	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0	
BNM-04	43	29	9	11	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	
BNM-05	47	22	12	11	0	0	2	1	4	2	1	0	0	0	
BNM-06	43	35	8	0	8	0	2	2	0	2	2	0	0	0	
BNM-07	45	39	11	1	0	0	0	1	0	2	1	0	1	0	
BNM-08	44	34	9	0	0	0	0	2	0	6	5	0	0	0	
BNM-09	40	36	13	4	0	0	0	1	0	4	2	0	0	0	
BNM-10	41	37	16	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	

TABELA I - TESTE ESTATÍSTICO PARA A PORCENTAGEM MINERAL

Teste estatístico para a Granulometria				
Amostra	Estimativa Visual		Média das Medidas	
	Fenocristal	Matriz	Fenocristal	Matriz
BNM-01	0.60	0.10	0.63	0.12
BNM-02	0.50	0.20	0.52	0.19
BNM-03	1.00	0.30	0.97	0.31
BNM-04	0.20	0.05	0.25	0.05
BNM-05	0.60	0.10	0.61	0.11
BNM-06	1.00	0.40	1.00	0.42
BNM-07	0.40	0.15	0.42	0.15
BNM-08	0.80	0.20	0.83	0.20
BNM-09	0.60	0.10	0.56	0.11
BNM-10	0.40	0.15	0.43	0.15
BNM-11	0.50	0.20	0.56	0.22
BNM-12	0.40	0.10	0.41	0.18
BNM-13	0.40	0.20	0.43	0.09
BNM-14	0.30	0.10	0.32	0.10
BNM-15	0.30	0.10	0.32	0.10
BNM-16	0.30	0.15	0.36	0.15
BNM-17	0.20	0.10	0.22	0.13
BNM-18	0.30	0.10	0.29	0.10
BNM-19	0.40	0.20	0.41	0.21
BNM-20	0.40	0.10	0.43	0.10
Coeficiente de Correlação Linear de Pearson			0.9947	0.9232

TABELA II - TESTE ESTATÍSTICO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS GRANULOMÉTRICAS E ESTIMADAS E CALCULADAS.

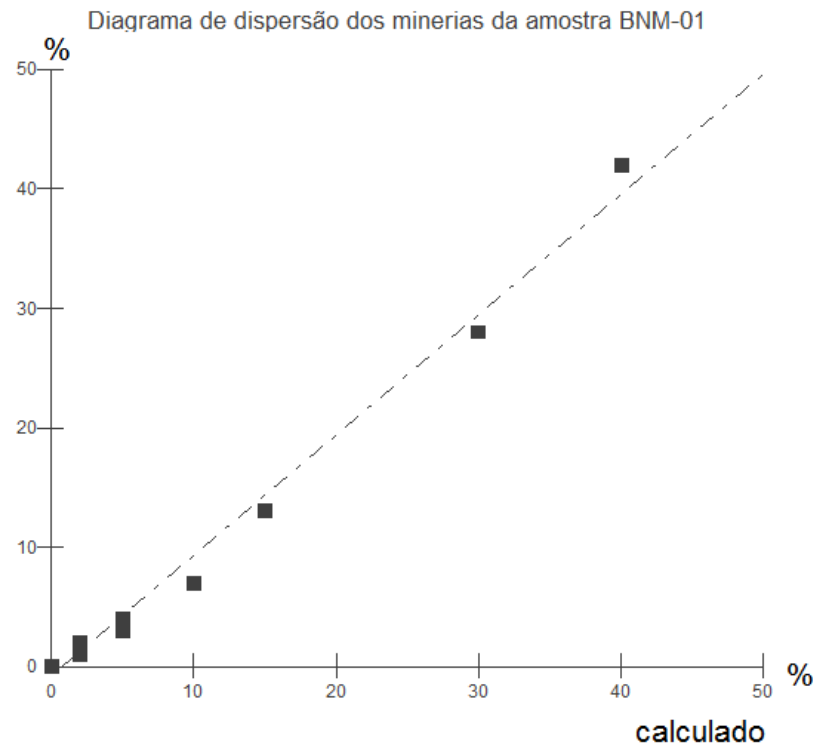


FIGURA 27 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS MINERAIS DA AMOSTRA BNM-01 ENTRE AS PORCENTAGENS DAS ESTIMATIVAS VISUAIS E CALCULADAS (COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO 0,995).

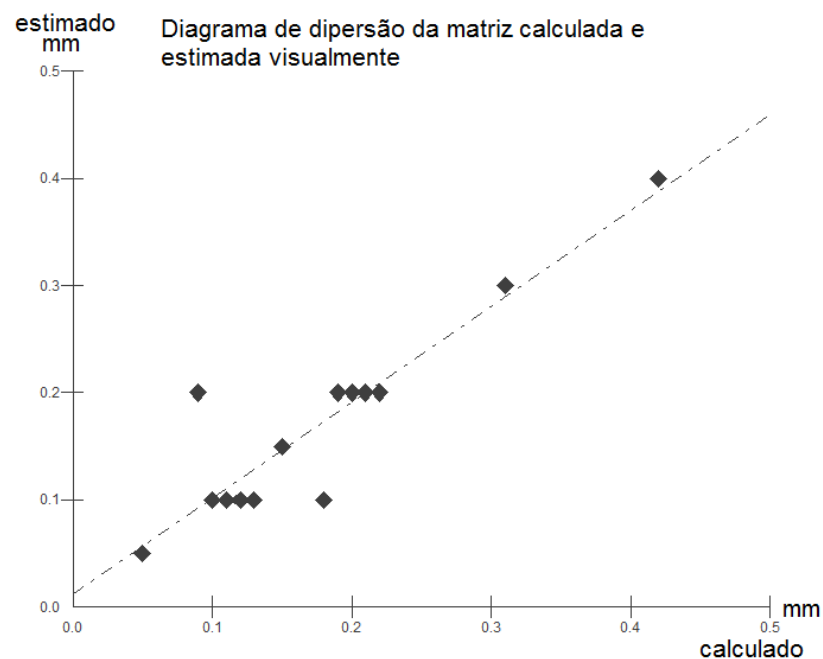


FIGURA 28 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO ENTRE A GRANULOMETRIA DA MATRIZ DAS ESTIMATIVAS VISUAIS E CALCULADAS. (COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO 0,9232).

3.4.5. MÉTODO DE DESCRIÇÃO

A descrição mineral visou a determinação das estimativas visuais da granulação e da composição mineral. O método de abordagem adotado consistiu inicialmente na determinação das granulações dos minerais da rocha sendo realizado por meio da comparação entre os tamanhos dos grãos e a escala micrométrica acoplada à ocular do próprio microscópio. As estimativas visuais foram realizadas de modo a separar as granulações mais discrepantes, entre fenocristais e matriz. Foram medidos separadamente alguns fenocristais a fim de se obter um valor médio. O mesmo foi realizado com a matriz, e assim a granulação da rocha pode ser separada em duas classes, fenocristais e matriz (Figura 29), conforme apresentado nos Apêndices I e II.

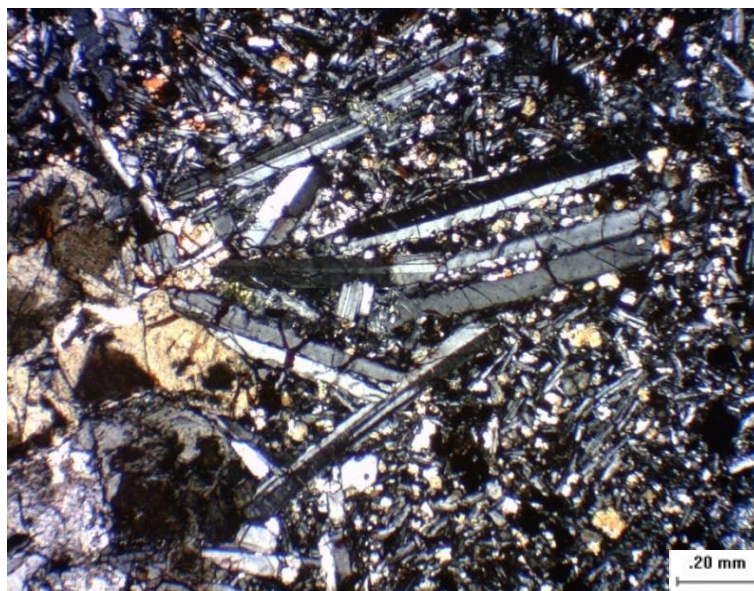


FIGURA 29 - FOTOMICROGRAFIA: BASALTO, PEDREIRA SANTA LÚCIA, NICÓIS CRUZADOS - FENOCRISTAIS DE LABRADORITA (AO CENTRO) ENVOLVIDOS PELA MATRIZ SUBOFÍTICA. AMOSTRA BNM-02.

Em seguida, a descrição mineral objetivou a determinação da composição mineral da rocha independentemente da porcentagem de ocorrência. Os principais minerais encontrados nas amostras são o piroxênio com predominância da augita, o plagioclásio com predomínio da labradorita, minerais opacos (magnetita), além de vidro vulcânico (figuras 30 e 31). O somatório destes minerais e do vidro representa nas amostras coletadas

aproximadamente 80% do valor total. O restante dos minerais descritos nos basaltos amostrados constituem os minerais secundários originados em processos geológicos distintos, sendo eles: epidoto, hidróxido de ferro, clorita, celadonita, quartzo, zeólita e carbonatos. Os dados obtidos foram compilados em tabelas síntese, os quais foram utilizados como variáveis petrográficas a fim de facilitar a correlação estatística.

Objetivando a correlação estatística dos dados elaboraram-se tabelas síntese (Apêndice I e II) com as informações provenientes dos ensaios petrográficos e de ensaios físico-mecânicos transformando os resultados obtidos em variáveis de correlação.

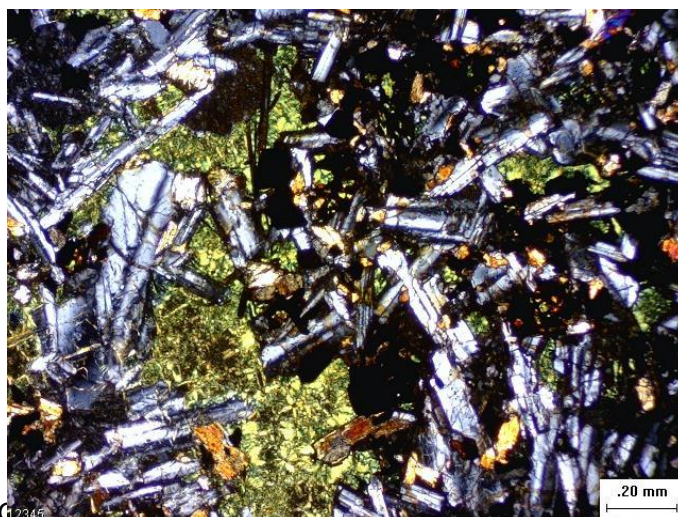


FIGURA 30 - FOTOMICROGRAFIA: MATRIZ INTERLOCKADA: MATRIZ FORMADA POR LABRADORITA RIPIFORME, AUGITA ANÉDRICA E OPACOS, COM AGREGADOS FIBRORRADIADOS INTERSTICIAIS DE CLORITA.

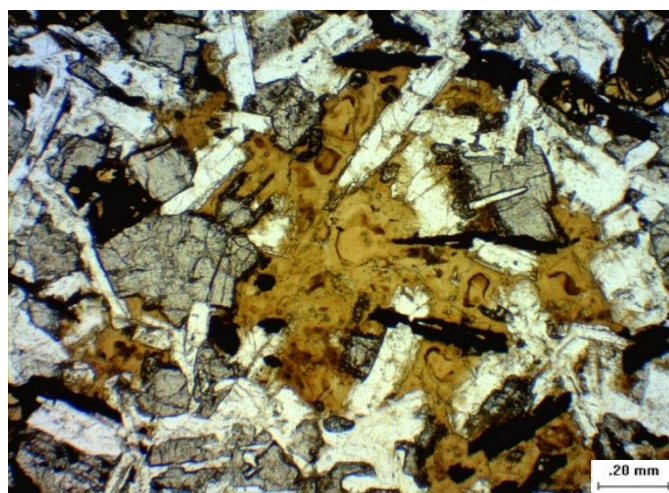


FIGURA 31 - FOTOMICROGRAFIA: BASALTO, PEDREIRA SCHROEDER, NOVA FÁTIMA, PR, NÍQUEL PARALELOS: AGREGADO CASTANHO AMARELADO DE OBSIDIANA CLORITIZADA, INTERSTICIAL AOS MINERAIS DA MATRIZ DA ROCHA.

3.5. ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

Os laudos de ensaios físico-mecânicos foram disponibilizados por empresas de mineração conforme Apêndice II. Os resultados dos ensaios de abrasão Los Angeles, durabilidade, absorção d'água e massa específica foram compilados em tabelas síntese e associados às amostras petrográficas. No intuito de conhecer os procedimentos laboratoriais de realização destes ensaios, a seguir é descrito, de maneira sucinta, cada ensaio juntamente com as normas que padronizam sua execução.

3.5.1. ENSAIO DE ABRASÃO LOS ANGELES

O ensaio de abrasão Los Angeles compreende um dos ensaios necessários à comprovação da qualidade do agregado mineral para o emprego na construção civil de modo geral. O ensaio de abrasão Los Angeles está especificado pelas normas ABNT NBR-6465/1984 NM51/2001, DNER-ME 035/1998 e ASTM C-131. Conceitualmente, o método de ensaio mede o desgaste de um material por abrasão através do impacto entre este e esferas de aço padronizadas que giram em um tambor (Figura 32). Refere-se ao desgaste sofrido pelo material, quando colocado na máquina “Los Angeles” juntamente com uma carga abrasiva e submetido a um determinado número de revoluções desta máquina à velocidade de 30 rpm a 33 rpm. Ao final do procedimento o agregado é peneirado e pesado comparando-se os valores iniciais e finais do material passante em cada peneira e apresentando os resultados em valores percentuais. De acordo com o uso do material, são estabelecidos valores máximos de abrasão Los Angeles. Na Figura 32 pode-se observar uma imagem simplificada do equipamento para realização do ensaio.

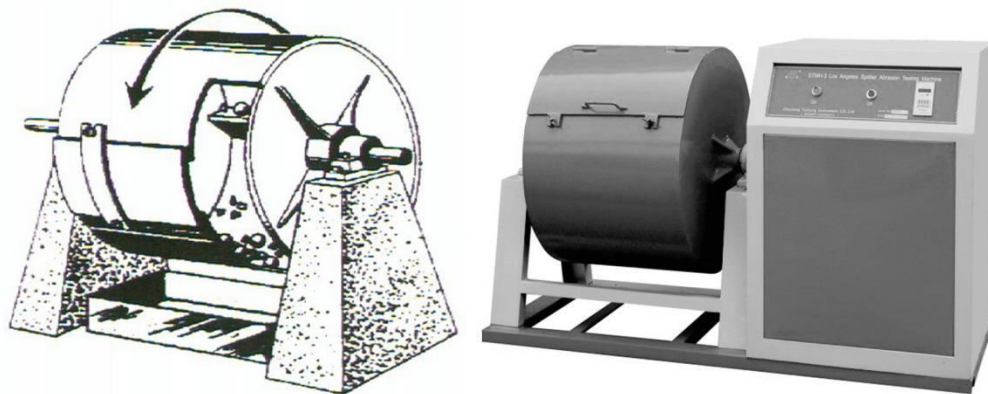


FIGURA 32 - IMAGEM ILUSTRATIVA DO EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE ABRASÃO LOS ANGELES. FONTE: SHANGHAI CIVIL & ROAD INSTRUMENT CO

3.5.2. ENSAIO DE DURABILIDADE/SANIDADE

O ensaio denominado de durabilidade, comumente chamado de ensaio de sanidade, determina a resistência à desintegração dos agregados ao ataque de soluções saturadas de sulfato de sódio ou de magnésio durante um período de tempo específico. A análise visa valorar a capacidade de inércia química do agregado mineral em garantir a permanência de suas propriedades físicas e químicas ao longo do tempo. As normas que regem o método de ensaio encontram-se descritas na DNER-ME 089/1994 e ASTM C88-76. A norma do DNER 089/1994 recomenda que para o emprego como uso asfáltico sejam admitidos até 20% de perda com sulfato de sódio e de 30% para sulfato de magnésio.

3.5.3. ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA

A definição de massa específica real consiste na relação entre a massa do agregado seco e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis. As normas que regem esse tipo de ensaio são DNER-ME 194/98, ABNT NBR 9937/02, NBR 53/03 e ASTM D4052. O resultado analítico deve ser expresso com dois algarismos significativo.

3.5.4. ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

O ensaio de Absorção d'água consiste no quociente percentual entre a diferença de massa da amostra ao ar livre e a massa da amostra seca. Portanto, estipula o grau de água absorvida na amostra em estado natural. As normas que regem esse tipo de ensaio são ABNT NBR 9937/02, NBR 53/03 e ASTM D4052.

3.6. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA

A correlação entre elementos petrográficos e resultados de ensaios físicos é calculada pelo método de Análise de Correlação, podendo ser ela linear ou não-linear. As variáveis X e Y são dadas por valores numéricos os quais foram determinados para cada parâmetro. Após a estimativa numérica aplica-se a análise dos diagramas de dispersão, os quais podem resultar na interpretação final dos dados ou levar ao prosseguimento da interpretação pela análise da Correlação de Spearman. Os casos em que se emprega a Correlação de Spearman são decorrentes das observações da não-linealidade dos padrões formados nos diagramas de dispersão ou da baixa quantidade de amostras (<30).

Na análise petrográfica adotaram-se as variáveis mensuráveis: porcentagem de ocorrência mineral e granulometria. Para a porcentagem mineral e granulometria são adotados os valores numéricos de ocorrência e utilizando procedimentos de estimativa visual.

Nos resultados de ensaios físicos as variáveis provêm de cada tipo de análise como durabilidade, absorção d'água, abrasão Los Angeles e massa específica, sendo seus valores numéricos utilizados no cálculo da correlação.

O método empregado é o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, sendo este, testado pelo método de Coeficiente de Correlação não-linear de Spearman e pela análise dos diagramas de dispersão, conforme demonstrado anteriormente por CALLEGARI-JACQUES (2003).

3.6.1. MÉTODO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Após a compilação dos dados petrográficos e de ensaios físico-mecânicos em tabelas-síntese, iniciou-se o tratamento estatístico dos dados. Devido ao grande volume de dados, buscou-se otimizar os cálculos de correlação estatística com programas computacionais específicos ao tema. Dentre os programas computacionais existentes para cálculo estatístico optou-se pelo *software* livre denominado BioEstat versão 5.3. O programa desenvolvido como resultado do trabalho de três pesquisadores Manuel Ayres, professor de Estatística da Universidade Federal do Pará; Manuel Ayres Jr., PhD em Engenharia Civil pela Universidade de Maryland (EUA); e pelo estudante do segundo grau, Daniel Lima Ayres, que desenvolveu o aplicativo, juntamente com Alex de Assis Santos, em Visual Basic, e a diagramação do manual, ambos em colaboração com a Universidade Federal do Pará.

Optou-se pela escolha deste *software* em decorrência da:

- confiabilidade de cálculos,
- gratuidade do programa, sem custo de aquisição
- interface agradável, destacando-se em relação a programas similares
- facilidade de organização dos dados
- compatibilidade com tabelas do Excel
- apresentação dos resultados em tabelas e gráficos,
- manual de instruções acompanhando o programa

Os cálculos executados pelo programa permitem a apresentação final dos dados em tabelas e gráficos e fornecem as bases para as interpretações e considerações finais do trabalho. Também foram executados cálculos manuais de correlação com o objetivo de aferir os resultados calculados pelo programa BioEstat 5.3.

Inicialmente, nas primeiras etapas de análise da correlação as variáveis foram submetidas à correlação espúria. Seguindo os conceitos desta correlação, quando a alteração de uma variável não interferir na mudança de outra e apenas houver coincidência numérica na variação de ambas, as variáveis devem ser descartadas do estudo. Deste modo, as etapas sucessivas de análise da correlação estariam comprometidas. A correlação espúria deu-se

considerando o raciocínio geológico e o conhecimento dos procedimentos de realização de ensaios laboratoriais. Os resultados obtidos embasam as etapas seguintes do trabalho.

Após a escolha das variáveis a serem utilizadas e obedecidos os critérios exigidos pela correlação espúria, aplica-se o método de Correlação de Pearson. Conforme apontam os resultados, diversas variáveis isoladas ou combinadas (somatório de duas variáveis ou mais) foram utilizadas para o cálculo. O método empregado consistiu na escolha de uma variável petrográfica de todas as amostras do banco de dados e suas respectivas variáveis de ensaios físico-mecânicos as quais foram lançadas em tabelas próprias do software *BioEstat* 5.3.

O procedimento adotado consiste em correlacionar uma ou mais variáveis petrográficas e uma variável físico-mecânica. Nos casos de utilização de duas ou mais variáveis petrográficas estas foram correlacionadas através do produto de sua soma antes de serem lançadas nas tabelas do programa *BioEstat*. Por exemplo, caso seja de interesse em saber o grau de correlação da quantidade de piroxênio e vidro vulcânico nos resultados de Abrasão Los Angeles, deve-se somar a porcentagem de ocorrência destes minerais, em cada amostra, antes de lançar os dados no *software*. Em seguida executou-se, no programa, o cálculo de correlação, obtendo-se os resultados em tabelas e gráficos conforme a figura 33. Paralelamente aos cálculos executados pelo programa, optou-se pela aferição dos resultados com cálculos manuais para as variáveis das três primeiras amostras do banco de dados.

A análise de Correlação de Pearson resulta em diversos coeficientes que são classificados segundo os critérios de CALLEGARI-JACQUES (2003), e ao final expressam o grau de correlação das variáveis. Também foram gerados Diagramas de Dispersão os quais auxiliam na compreensão do modelo na confirmação do grau de correlação, na distribuição gráfica dos índices e na avaliação da linearidade da dispersão dos resultados.

Nos casos onde se observou que a distribuição dos índices de correlação não ocorriam de forma linear, ou que o volume de pares analisados era insuficiente para a compreensão do comportamento de correlação, optou-se pelo uso do método de Correlação de Spearman.

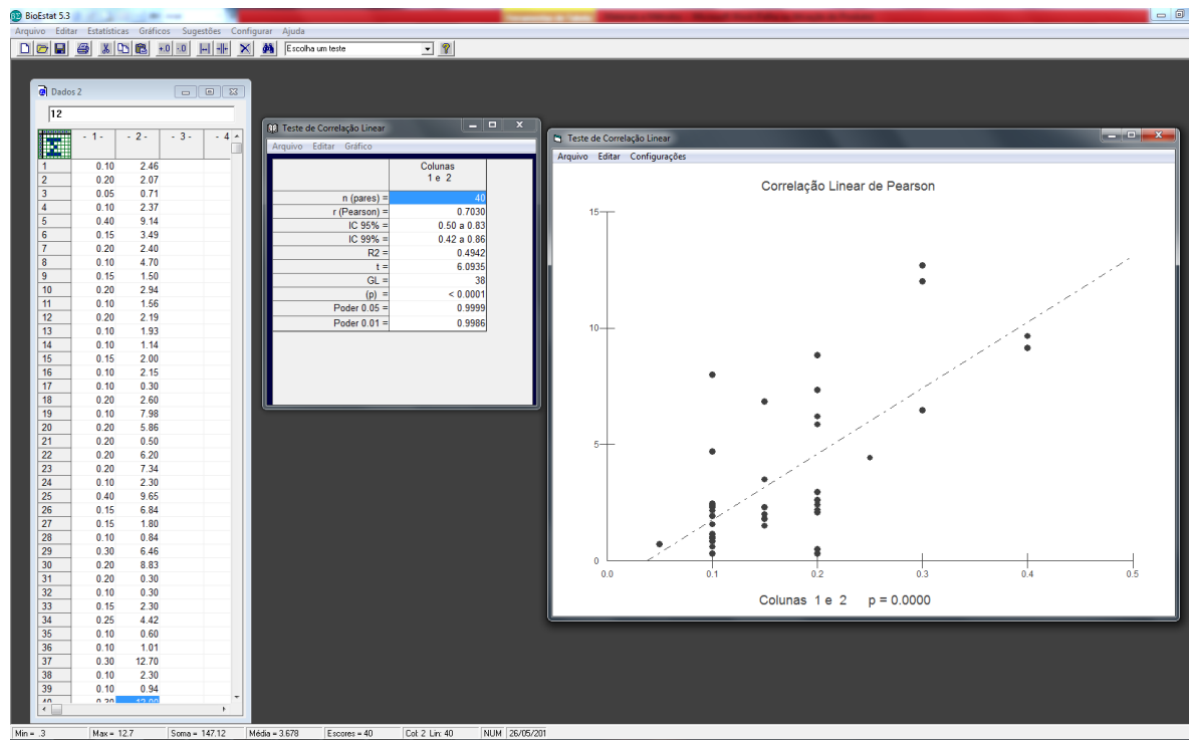


FIGURA 33 - INTERFACE DO PROGRAMA BIOESTAT E ANÁLISE ESTATÍSTICA.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Preteritamente à interpretação dos resultados, realizou-se o estudo do banco de dados a fim de compreender a distribuição e a amplitude amostrada. As amostras de ensaios físico-mecânicos foram classificadas em ordem crescente de valor e graficamente comparadas ao número de amostras. Os diagramas de dispersão (figura 34) apresentam a tendência de distribuição amostral em cada intervalo. A situação ideal para a análise de Correlação de Pearson seria aquela em que cada amostra possuiria um valor ou um intervalo de valor distinto, não ocorrendo valores amostrais muito próximos entre si. Portanto, graficamente, a distribuição ideal das amostras seria uma reta com ângulo de 45° em relação ao eixo Y. Atendendo à situação ideal, cada amostra possuiria um valor analítico distinto de intervalo equidistante ao intervalo seguinte.

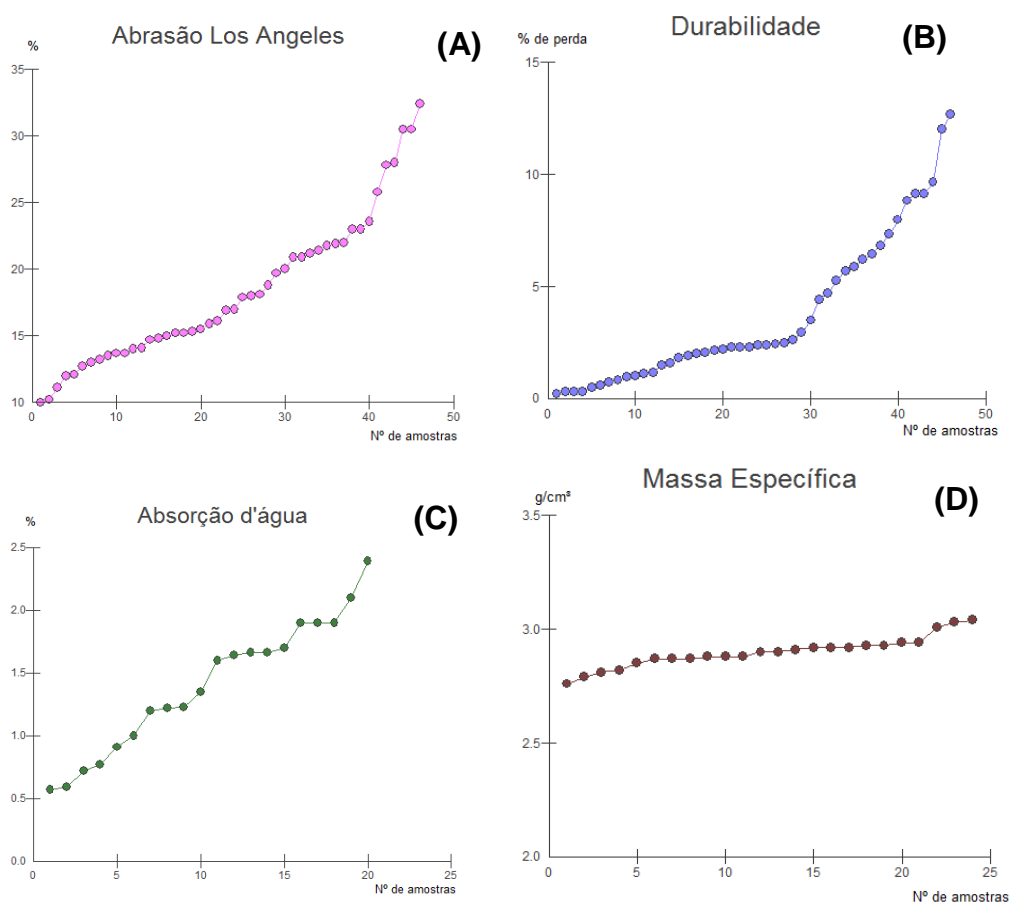


FIGURA 34 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO AMOSTRAL

Na análise gráfica observa-se que, apesar da distribuição das amostras dentro da amplitude total, nos casos da abrasão Los Angeles, durabilidade e absorção d'água ocorrem hiatos de valores sem amostras correspondentes. No caso da massa específica, a amplitude total de distribuição das amostras graficamente é pequena em decorrência da monotonia litológica.

Contudo, pode-se interpretar que o banco de dados apresenta proximidade à situação ideal de distribuição amostral dos resultados físico-mecânicos, viabilizando o emprego na correlação estatística para este trabalho.

Petrograficamente, o banco de dados possui características de porcentagem mineral e granulometria intrínsecas ao litotipo descrito como Basalto por LE MAITRE (1989). A amplitude de ocorrência dos principais minerais na rocha como plagioclásio, piroxênio, minerais opacos/metálicos e vidro vulcânico pode ser observada na figura 35 respeitando os limites de classificação da rocha. Portanto, nesta análise gráfica pode-se compreender os limites do banco de dados de ocorrência da porcentagem mineral.

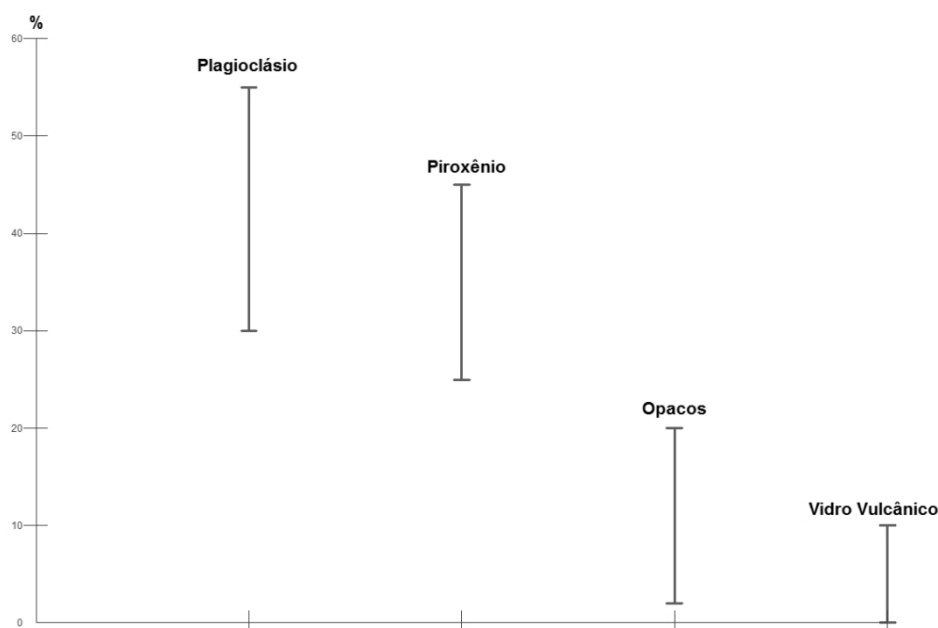


FIGURA 35 - GRÁFICO DE MÁXIMOS E MÍNIMOS DA PORCENTAGEM DOS PRINCIPAIS MINERAIS DOS BASALTOS

4.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Nas primeiras fases de trabalho avaliaram-se todas as variáveis segundo os conceitos de correlação espúria cujos resultados indicam para a possibilidade geológica de correlação e, assim, o prosseguimento do trabalho.

As variáveis petrográficas empregadas para a análise de correlação consistiram nas estimativas visuais da porcentagem mineral, após a acurácia da estimativa, e granulometria dos fenocristais e matriz. Para os cálculos de correlação foram empregados todos os minerais descritos de forma individualizada ou pelo somatório da porcentagem de dois ou mais, conforme descritos nas Tabelas III, IV, V e VI.

O critério de escolha das variáveis físico-mecânicas para a correlação baseou-se na quantidade de dados disponíveis e na perspectiva de resultados positivos. As variáveis físico-mecânicas utilizadas no estudo foram: abrasão Los Angeles, durabilidade, massa específica e absorção d'água, as quais foram correlacionadas com as variáveis petrográficas de porcentagem mineral e granulometria. Os cálculos de correlação foram efetuados para todos os minerais descritos e separadamente para as granulometrias de fenocristal e matriz. Conforme descreve a bibliografia, nos cálculos de Correlação Linear de Pearson, esperavam-se resultados com elevados coeficientes de correlação entre a granulometria e a durabilidade e entre a porcentagem de piroxênio e a abrasão Los Angeles.

4.3. ABRASÃO LOS ANGELES

Os resultados obtidos segundo os coeficientes de Correlação Linear de Pearson revelam moderado grau de correlação positiva (superior a 0,3) entre a granulometria da matriz (0,5430) e dos fenocristais (0,4336) e os resultados do desgaste por abrasão Los Angeles, conforme Tabela III. Nas porcentagens minerais os cálculos de Correlação Linear de Pearson foram expressivos para a obsidiana cloritizada com coeficientes positivos de 0,6083 comprovando a forte correlação (superior a 0,6) entre as variáveis. A celadonita apresentou associação moderada com coeficiente de correlação negativo de 0,3155.

A análise dos diagramas de dispersão (figuras 36 e 37) confirmou a tendência de correlação entre a granulometria da matriz e fenocristal e a abrasão Los Angeles. A forma da curva de distribuição confirma o grau de correlação entre as variáveis. Destaca-se a distribuição das amostras de forma não alinhada conforme o padrão ideal linear de correlação. Entretanto, ocorre compondo uma orientação de tendência de distribuição (*trend*), onde o conjunto de amostras expressa a orientação principal.

Análise de Correlação		Abrasão Los Angeles			
		Variáveis Físico-Mecânicas			
		Nº (pares)**	Coeficiente de Correlação Linear (Pearson)	Coeficiente de Correlação (Spearman)	Nº (pares)**
Variáveis Petrográficas	granulometria (fenocristal)	46	0,4336	0,2491	46
	granulometria (matriz)	46	0,5430	0,3584	46
	plagioclásio	46	0,0670		
	piroxênio	46	0,0827		
	opacos	46	-0,2254		
	vidro vulcânico	46	-0,038		
	obsidiana cloritizada	9	0,6083	0,7145	9
	quartzo	46	-0,0747		
	sericita	46	-0,0525		
	epidoto	46	-0,1083		
	clorita	46	0,0018		
	argilominerais	46	0,1374		
	hidróxidos de ferro	46	-0,1147		
	apatita	46	0,1358		
	celadonita	46	-0,3155	-0,3420	46
	carbonato	46	0,0757		
	zeólitas	46	0,0424		
	plagionclásio + piroxênio	46	0,1227		
	plagionclásio + piroxênio + vidro vulcânico	46	0,0915		
	minerais secundários	46	-0,1704		

** Número de pares igual ao número de amostras petrográficas e correspondentes físico-mecânicas correlacionadas

*Classificação segundo CALLEGARI-JACQUES (2003):





	$0,00 < \rho^* < 0,30$	Fraca correlação linear;
	$0,30 \leq \rho^* < 0,60$	Moderada correlação linear;
	$0,60 \leq \rho^* < 0,90$	Forte correlação linear;
	$0,90 \leq \rho^* < 1,00$	Muito forte Correlação linear.

TABELA III - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DA ABRASÃO LOS ANGELES.

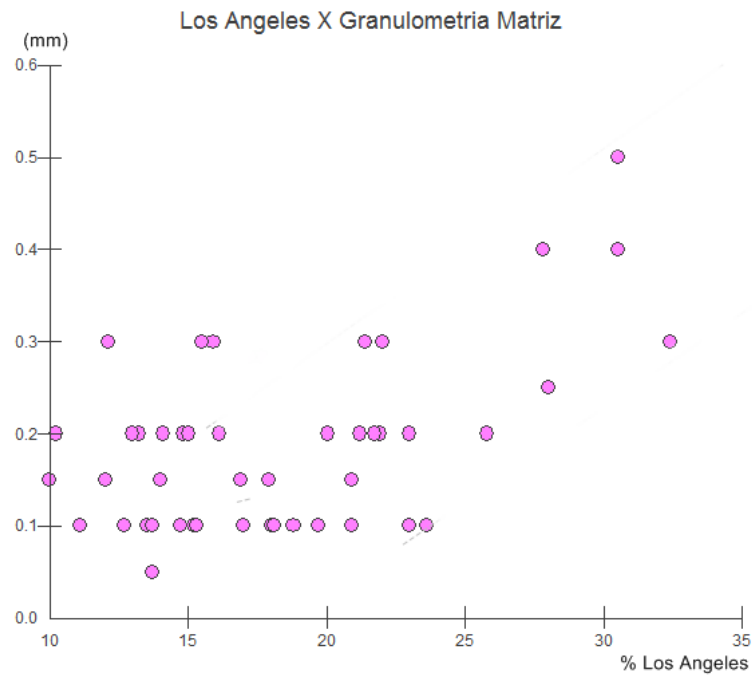


FIGURA 36 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABRASÃO LOS ANGELES E GRANULOMETRIA DA MATRIZ

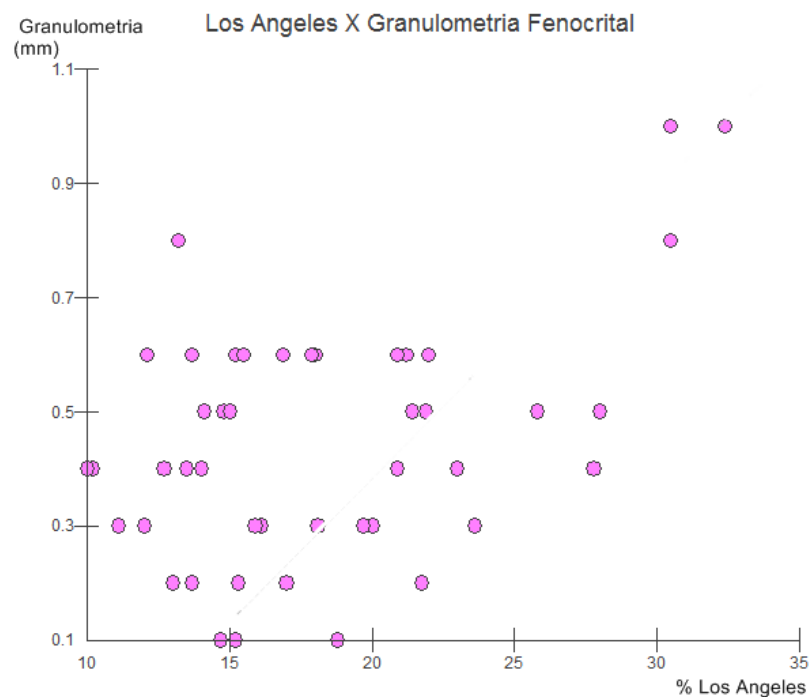


FIGURA 37- DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABRASÃO LOS ANGELES E GRANULOMETRIA FENOCRISTAL

Interpretando os diagramas de dispersão também se constatou que a distribuição das amostras para a obsidiana cloritizana e para a celadonita poderia não ser de forma linear. Para comprovar a não linearidade utilizaram-

se os cálculos de Correlação de Spearman. Os resultados dos coeficientes de correlação obtidos foram superiores aos do método de Pearson. Portanto, os cálculos e os diagramas de dispersão (figuras 38 e 39) apontam que existe forte grau de correlação não-linear para a obsidiana cloritizada (0,7145) e grau moderado para as amostras contendo celadonita (-0,342), sendo que a forma mais adequada de distribuição dos dados não é uma reta e sim uma curva. O método de Spearman também é indicado para casos com número de pares inferiores a 30. Entretanto, apesar da ocorrência no banco de dados de amostras com obsidiana cloritizada ser de, apenas nove amostras, os resultados apontam expressivos graus de correlação que tendem a subir caso o número de amostras seja aumentado, conforme as suposições de Pearson.

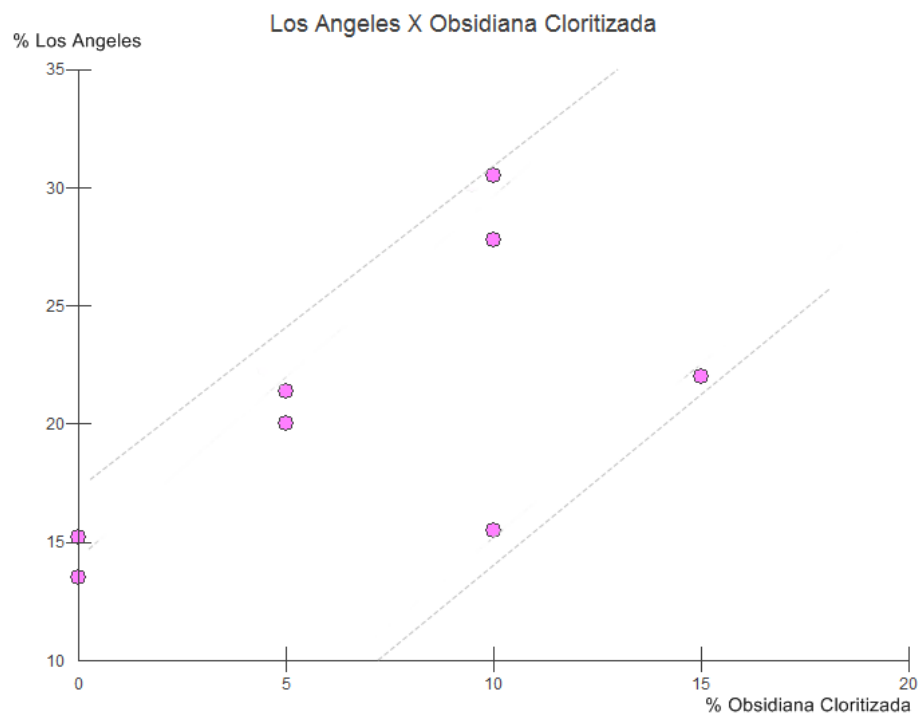


FIGURA 38- DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABRASÃO LOS ANGELES E OBSIDIANA CLORITIZADA

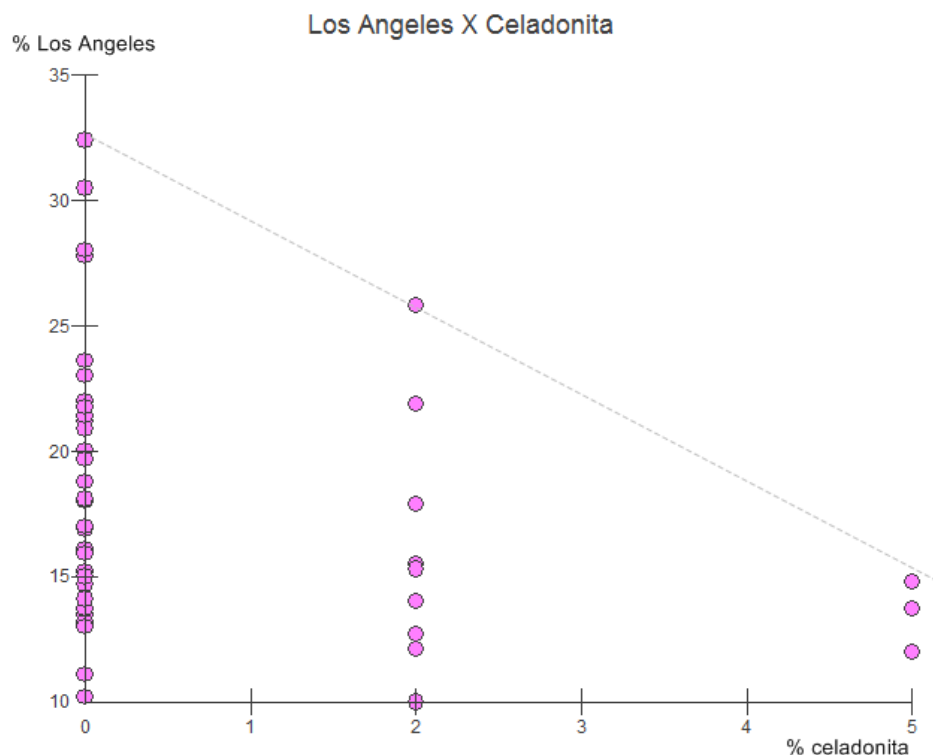


FIGURA 39- DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABRASÃO LOS ANGELES E CELADONITA

Os resultados obtidos diferem dos trabalhos de BRATTLI (1992) que estabelecem que a porcentagem de piroxênio revela maior grau de correlação entre a Abrasão Los Angeles do que a durabilidade. No presente trabalho o coeficiente de correlação entre o piroxênio e a Abrasão Los Angeles foi de 0,0827 expressando baixa associação.

As demais variáveis de porcentagem mineral expressaram numericamente coeficiente de correlação inferior a 0,3 sendo portanto de fraca correlação linear. O mesmo se pode afirmar para os cálculos pelo método de Spearman. Entretanto, na observação dos diagramas de dispersão (figura 40) a ocorrência de hidróxido de ferro merece destaque. O coeficiente de correlação linear de Pearson calculado expõe um valor de -0,1147 de fraca correlação, porém a interpretação do Diagrama de Dispersão revela uma tendência de correlação negativa não-linear moderada.

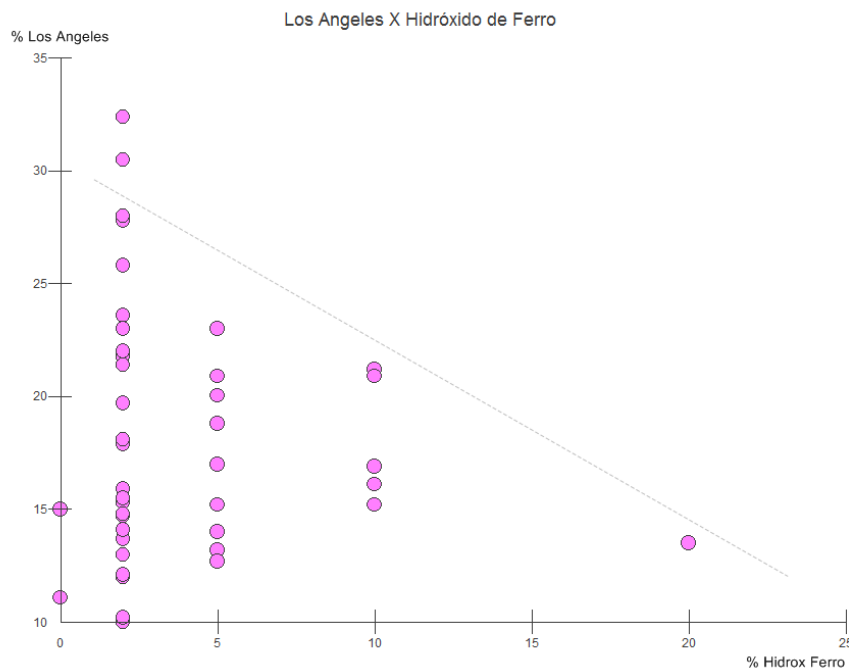


FIGURA 40- DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABRASÃO LOS ANGELES E HIDRÓXIDO DE FERRO

Os resultados obtidos para a variável abrasão Los Angeles comprovam que a granulometria é um fator relevante para o resultado final dos ensaios de abrasão Los Angeles. Portanto, fica comprovado que quanto maior a granulação do basalto e maior a quantidade de obsidiana cloritizada maior será o índice de abrasão Los Angeles. Esta correlação pode ser interpretada como facilidade do desgaste da rocha quanto maior for à área de contato entre os minerais constituintes da rocha e quanto maior for a ocorrência de obsidiana cloritizada.

4.4. DURABILIDADE

O método de Correlação Linear de Pearson expôs para a durabilidade o mesmo comportamento da abrasão Los Angeles. O grau de correlação entre a granulometria dos fenocristais e da matriz obteve moderado coeficiente de correlação, sendo respectivamente de 0,4496 e 0,6322. As correlações entre as porcentagens minerais e os ensaios de durabilidade revelam que o piroxênio possui moderada correlação linear positiva de 0,3532 e que quartzo e obsidiana cloritizada possuem forte correlação (Tabela IV).

As porcentagens de obsidiana cloritizada apresentaram coeficiente de correlação positiva de 0,7862, e devido a baixo número de pares amostrais, também optou-se pelo cálculo seguindo o método de Spearman. Contudo, o resultado foi menos expressivo 0,6004. Na análise do diagrama de dispersão (figuras 41,42 e 43) interpreta-se a tendência de linearidade na distribuição das amostras, o que leva à conclusão de correlação linear positiva entre as variáveis.

Análise de Correlação		Durabilidade			
		Variáveis Físico-Mecânicas			
		Nº (pares)**	Coeficiente de Correlação Linear (Pearson)	Coeficiente de Correlação (Spearman)	Nº (pares)**
Variáveis Petrográficas	granulometria (fenocristal)	46	0,4496	0,5508	46
	granulometria (matriz)	46	0,6322	0,5979	46
	plagioclásio	46	-0,2894		
	piroxênio	46	0,3532		
	opacos	46	-0,1842		
	vidro vulcânico	46	-0,2199		
	obsidiana cloritizada	9	0,7862	0,6004	9
	quartzo	4	-0,8958	-0,9487	4
	sericita	46	0,0398		
	epidoto	46	0,1129		
	clorita	46	-0,2253		
	argilominerais	46	0,2015		
	hidróxidos de ferro	46	0,0784		
	apatita	46	-0,2127		
	celadonita	46	-0,0454		
	carbonato	46	0,1316		
	zeólitas	46	-0,1774		
	plagionclásio + piroxênio	46	-0,0389		
	plagionclásio + piroxênio + vidro vulcânico	46	-0,1746		
	minerais secundários	46	0,0232		

** Número de pares igual ao número de amostras petrográficas e correspondentes físico-mecânicas correlacionadas

*Classificação segundo CALLEGARI-JACQUES (2003):

	$0,00 < \rho^* < 0,30$ Fraca correlação linear;
	$0,30 \leq \rho^* < 0,60$ Moderada correlação linear;
	$0,60 \leq \rho^* < 0,90$ Forte correlação linear;
	$0,90 \leq \rho^* < 1,00$ Muito forte Correlação linear.

TABELA IV- ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DA DURABILIDADE.

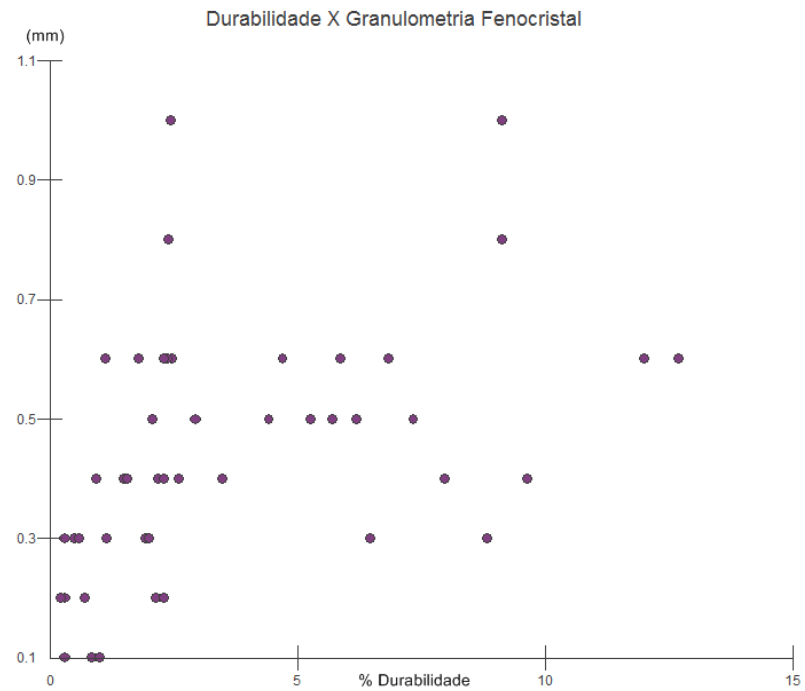


FIGURA 41- DIAGRAMA DE DISPERSÃO DURABILIDADE E FENOCRISTAL

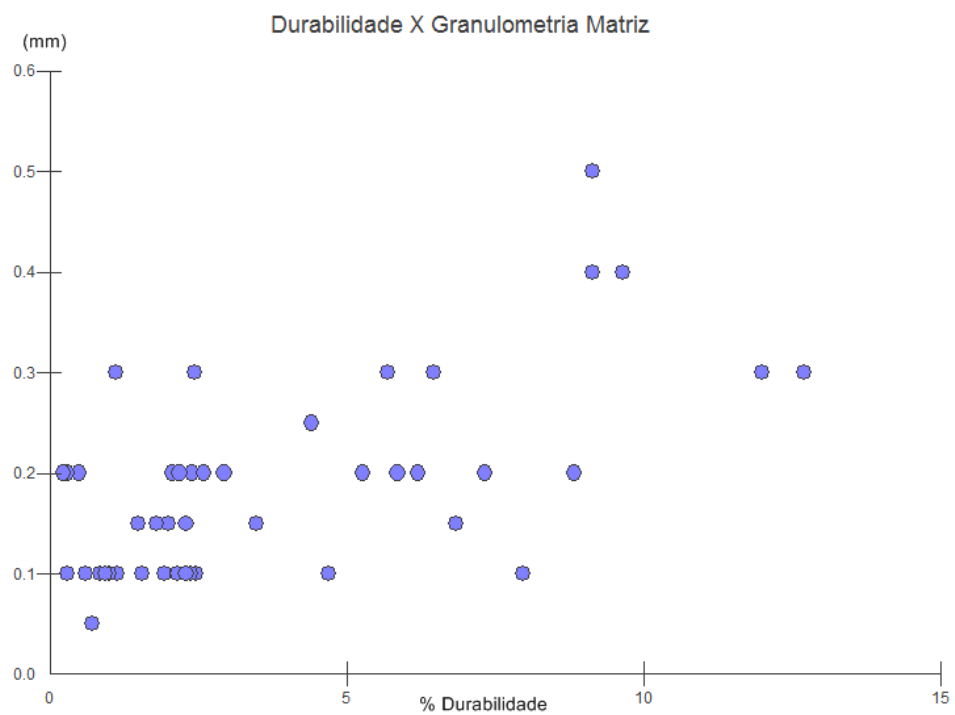


FIGURA 42- DIAGRAMA DE DISPERSÃO DURABILIDADE E GRANULOMETRIA DA MATRIZ

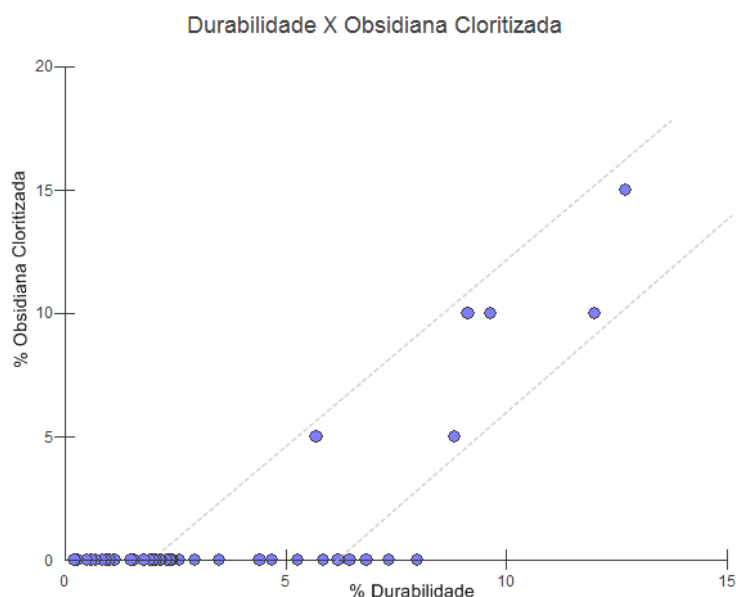


FIGURA 43- DIAGRAMA DE DISPERSÃO DURABILIDADE E OBSIDIANA CLORITIZADA

O quartzo na determinação linear pelo método de Pearson apresenta coeficiente de correlação negativo de -0,8958. Decorrente do volume de amostras com ocorrência de quartzo ser inferior a 30 (apenas 4 amostras) e, considerando a análise do diagrama de dispersão, foi utilizado o cálculo pelo método de Spearman que determina o valor de -0,9487 com coeficiente negativo e muito forte correlação não-linear. Apesar de ser o resultado mais expressivo, de maior correlação desta dissertação, o número de amostras é pequeno para uma interpretação conclusiva. A fim de compreender o comportamento do quartzo foram gerados dois diagramas de dispersão (figuras 44 e 45) distintos, um possui somente as amostras com ocorrência de quartzo e no outro todas as amostras do banco de dados independente da ocorrência de quartzo. Em ambos os diagramas foi possível interpretar uma curva de tendência de correlação do mineral em relação a durabilidade. Portanto, comprova-se que quanto maior a granulização e quanto maior a ocorrência de piroxênio e obsidiana cloritizada nos basaltos maior será o índice de durabilidade. Sugere-se que quanto maior a porcentagem de quartzo menor será o resultado final dos ensaios de durabilidade. Interpreta-se que a reação ao ataque do sulfato de sódio em alguns minerais secundários e argilominerais seja favorecida e que o quartzo, devido à sua composição, dificulte a reação química sendo inversamente proporcional à durabilidade.

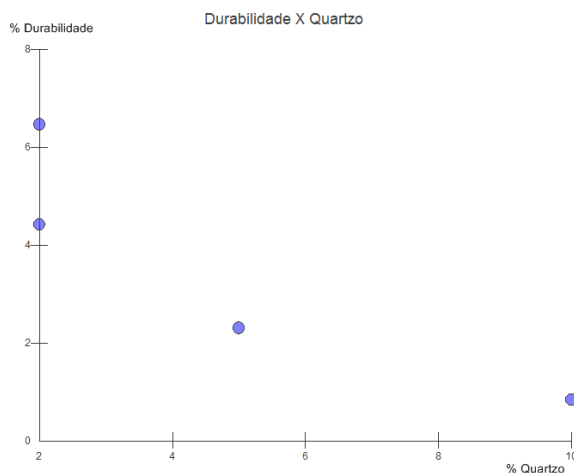


FIGURA 44- DIAGRAMA DE DISPERSÃO DURABILIDADE E QUARTZO COM QUATRO AMOSTRAS

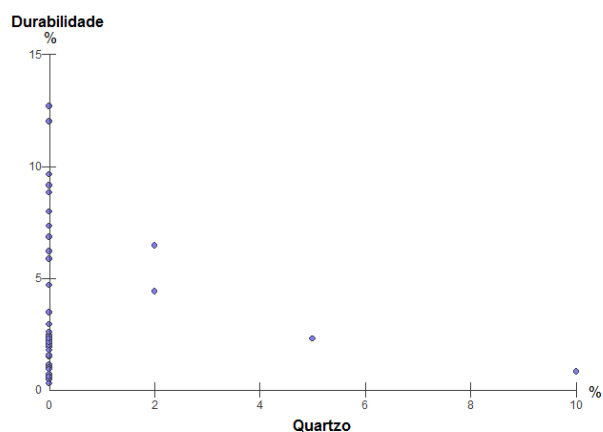


FIGURA 45 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DURABILIDADE E QUARTZO COM TODAS AS AMOSTRAS

4.5. MASSA ESPECÍFICA

Os resultados (Tabela V) mais expressivos no cálculo de correlação de Pearson para a massa específica consistem nas porcentagens de vidro vulcânico e hidróxido de ferro. Os resultados numéricos para zeólita (-0,4324) apontaram correlação linear negativa moderada. Entretanto, estes resultados foram descartados, pois somente duas amostras apresentaram este mineral. O parâmetro vidro vulcânico obteve correlação linear moderada negativa, com valor de -0,3483, e o hidróxido de ferro valor de -0,3069 com correlação linear moderada negativa.

Análise de Correlação		Massa Específica	
		Variáveis Físico-Mecânicas	
		Nº (pares)**	Coefficiente de Correlação Linear (Pearson)
Variáveis Petrográficas	granulometria (fenocristal)	24	0,0345
	granulometria (matriz)	24	0,1035
	plagioclásio	24	0,0861
	piroxênio	24	0,2591
	opacos	24	0,0559
	vidro vulcânico	24	-0,3483
	obsidiana cloritizada	24	-0,2534
	quartzo	24	0,0786
	sericita	24	-0,1674
	epidoto	24	-0,1183
	clorita	24	0,1463
	argilominerais	24	-0,0362
	hidróxidos de ferro	24	0,3069
	apatita	24	0,0662
	celadonita	24	-0,2277
	carbonato	24	-0,0394
	zeólitas	2	-0,4324
	plagionclásio + piroxênio	24	0,2316
	plagionclásio + piroxênio + vidro vulcânico	24	-0,0111
	minerais secundários	24	0,0926

** Número de pares igual ao número de amostras petrográficas e correspondentes físico-mecânicas correlacionadas

*Classificação segundo CALLEGARI-JACQUES (2003):





	$0,00 < \rho^* < 0,30$	Fraca correlação linear;
	$0,30 \leq \rho^* < 0,60$	Moderada correlação linear;
	$0,60 \leq \rho^* < 0,90$	Forte correlação linear;
	$0,90 \leq \rho^* < 1,00$	Muito forte Correlação linear.

TABELA V - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.

Os diagramas de dispersão (figuras 46 e 47) para estes dois minerais não favorecem interpretações conclusivas sobre o grau de correlação entre as variáveis. Os trends principais para ambos os casos ficaram restritos a retas aproximadamente perpendiculares aos eixos de correlação. Contudo, os cálculos numéricos apontam moderada correlação entre as variáveis.

A correlação entre a massa específica e a granulometria e as demais porcentagens minerais expressou grau de correlação fraco concluindo para a não influência dessas variáveis nos resultados finais da massa específica.

As porcentagens minerais de clorita, epidoto, quartzo e o somatório dos minerais secundários na rocha apresentaram correlação moderada pelo método de Correlação de Pearson. A porcentagem de clorita comprovou grau de correlação moderado negativo com valor de $-0,3790$, assim como o quartzo com valor de $-0,3365$. Os cálculos com as porcentagens de epidoto evidenciam uma correlação linear positiva com coeficiente de $0,3288$. Contudo, merecem destaque na variável de correlação os resultados de cálculo para o somatório dos minerais secundários da rocha. Individualmente, nem todos os minerais apresentaram grau de correlação expressivo, mas o produto da soma se demonstrou eficaz na análise numérica e gráfica. O somatório de minerais secundários apresentou coeficiente de correlação linear negativo de $-0,4456$, sendo classificado como moderado. Os diagramas de dispersão (figura 48) seguem a tendência dos cálculos pelo método de Pearson.

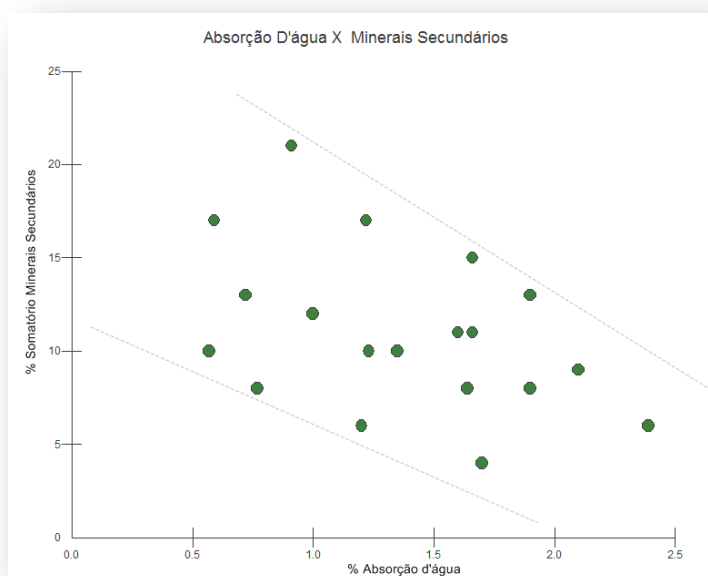


FIGURA 48 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO ABSORÇÃO D'ÁGUA E SOMATÓRIO DE MINERAIS SECUNDÁRIOS.

Análise de Correlação		Absorção D'água	
		Variáveis Físico-Mecânicas	
		Nº (pares)**	Coefficiente de Correlação Linear (Pearson)
Variáveis Petrográficas	granulometria (fenocristal)	20	0,2197
	granulometria (matriz)	20	0,1019
	plagioclásio	20	0,0068
	piroxênio	20	-0,0498
	opacos	20	0,0058
	vidro vulcânico	20	-0,0173
	obsidiana cloritizada	20	0,2971
	quartzo	20	-0,3365
	sericita	20	-0,0251
	epidoto	20	0,3288
	clorita	20	-0,3790
	argilominerais	20	-0,1007
	hidróxidos de ferro	20	-0,2693
	apatita	20	-0,0898
	celadonita	20	0,1466
	carbonato	20	0,0893
	zeólitas	20	0,1162
	plagionclásio + piroxênio	20	-0,0223
	plagionclásio + piroxênio + vidro vulcânico	20	-0,0371
	minerais secundários	20	-0,4456

** Número de pares igual ao número de amostras petrográficas e correspondentes físico-mecânicas correlacionadas

*Classificação segundo CALLEGARI-JACQUES (2003):





	$0,00 < \rho^* < 0,30$	Fraca correlação linear;
	$0,30 \leq \rho^* < 0,60$	Moderada correlação linear;
	$0,60 \leq \rho^* < 0,90$	Forte correlação linear;
	$0,90 \leq \rho^* < 1,00$	Muito forte Correlação linear.

TABELA VI - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DA ABSORÇÃO D'ÁGUA.

Após a análise dos resultados numéricos e gráficos interpreta-se a proporção inversa de correlação entre a absorção d'água e os minerais secundários, clorita e quartzo, sendo que quanto maior a porcentagem desses minerais menor será a absorção d'água. Na proporção direta de interpretação ocorre o epidoto sendo que quanto maior a quantidade, maior será o resultado do ensaio de absorção d'água. Portanto ficou comprovado que quanto maior a presença de minerais secundários, quartzo e clorita, menor será a absorção d'água. Explica-se esse fato em decorrência do preenchimento destes minerais em espaços vazios da rocha dificultando assim a penetração da água.

4. CONCLUSÕES

A hipótese inicial deste trabalho consiste em que elementos petrográficos influenciam no resultado de ensaios físico-mecânicos. As variáveis petrográficas utilizadas de granulometria e porcentagem mineral são as mais significativas na caracterização das amostras para este trabalho uma vez que podem facilmente ser mensuradas e quantificadas.

Os ensaios físico-mecânicos escolhidos para a análise de correlação se restringiram ao volume de laudos, aos custos analíticos, e a viabilidade técnica para o cálculo de correlação. Optou-se por utilizar os ensaios de abrasão Los Angeles, durabilidade, absorção d'água e massa específica, sendo estes fundamentais para a caracterização de agregados para uso na construção civil.

O desafio principal da pesquisa envolveu a aplicação de métodos estatísticos consagrados de correlação como a Correlação Espúria, Linear de Pearson, Spearman e análise de diagramas de dispersão, na associação com variáveis geológicas.

O emprego dos métodos estatísticos se prestou à correlação de variáveis geológicas, tornando viável a execução do trabalho. Os resultados obtidos atestam que algumas variáveis petrográficas, sendo as mais significativas a granulometria e a porcentagem de piroxênio, obsidiana cloritizada, epidoto, hidróxido de ferro, clorita, celadonita e quartzo, influenciam os resultados analíticos de abrasão Los Angeles, durabilidade, massa específica e absorção d'água. Destaca-se que apesar de alguns minerais secundários e de alteração ocorrerem em proporção inferior a 20% nos basaltos os resultados de ensaios físicos são sensivelmente afetados por estas variáveis.

Os cálculos de correção de Pearson atestam que a granulometria dos fenocristais e da matriz influenciam os resultados físico-mecânicos de abrasão Los Angeles e durabilidade apesar do grau moderado de correlação (coeficiente entre 0,3 e 0,6). O piroxênio atestou grau moderado de correlação linear com a durabilidade, discordando de BRATTLI (1992) que afirmava que estes minerais somente afetavam a abrasão Los Angeles.

Os diagramas de dispersão foram fundamentais para a compreensão do comportamento de associação entre as variáveis. Os gráficos levaram à

interpretações tanto do grau de correlação como das tendências de linearidade ou não linearidade. Nos casos em que o método de Pearson revelou tendências gráficas de destruição de dados em formas curvas, foi utilizado o método de Spearman. Este método aumentou o coeficiente de correlação comprovando a distribuição não linear de correlação entre as variáveis.

Segundo as linhas de raciocínio geológico iniciais, era esperado que o somatório das quantidades de minerais secundários fosse fortemente correlacionável com as variáveis de abrasão Los Angeles e durabilidade. Entretanto, os resultados obtidos indicam somente a existência de correlação para a variável absorção d'água. As demais correlações foram em variáveis isoladas, como o caso da obsidiana cloritizada e da celadonita, resultando na correlação linear, não-linear ou pela não existência de correlação.

Os demais minerais secundários das rochas e os plagioclásios comprovaram que não existe correlação significativa entre estes e as variáveis físico-mecânicas.

Conclui-se que os ensaios físico-mecânicos de abrasão Los Angeles e durabilidade são afetados pela granulação dos basaltos. Apesar dos basaltos apresentarem conceitualmente granulações finas a muito finas, pequenas variações do tamanho dos minerais da rocha afetam diretamente o resultados destes ensaios. A presença de minerais secundários (de alteração) também mostrou-se como um fator relevante na influência dos resultados de ensaios físico-mecânicos de abrasão Los Angeles, durabilidade, massa específica e absorção d'água. Há a tendência de quanto maior a quantidade de alguns destes minerais, piores serão os resultados dos ensaios físico-mecânicos segundo os parâmetros para uso na construção civil.

Por fim, resultados da pesquisa mostram-se importantes para a melhoria na compreensão dos parâmetros de inferência dos agregados e na agilidade de técnicas prospectivas, nas quais conhecendo as variáveis petrográficas pode-se estimar os resultados de ensaios físico-mecânicos e na redução de custos dos ensaios físico-mecânicos. Os resultados obtidos com esta pesquisa não podem ser utilizados para estimar com precisão o resultado final de ensaios físico-mecânicos, pois os graus de correlação entre as variáveis encontradas não são classificados como muito fortes e podem haver outras variáveis as quais influenciam no resultado final dos ensaios físico-mecânicos.

Recomenda-se que os trabalhos científicos futuros:

- a) Busquem volumes mais expressivos de amostras em que as variáveis tenham amplitude de valor maior;
- b) Correlacionem as variáveis pelo método de Análise de Correlação Multivariada, uma vez que este método pode avaliar o grau de correlação entre duas ou mais variáveis simultaneamente;
- c) Mensurem e correlacionem outras variáveis petrográficas como estrutura, textura, forma de contato e hábito mineral;
- d) Utilizem métodos de análise de regressão estatística;
- e) Realizem a correlação entre as variáveis geoquímicas e físico-mecânicas das amostras correspondentes;
- f) Correlacionem outros litotipos ocorrentes na Província Magmática do Paraná;
- g) Correlacionem as mesmas variáveis petrográficas com outros tipos de ensaios físico-mecânicos para emprego na construção civil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-BAIJAT , H. M. 2008. The Use of Basalt Aggregates in Concrete Mixes in Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 2, No. 1.

ALMEIDA, F. F. M. 1981 Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: Simpósio Regional De Geologia, 3, São Paulo. Atas... São Paulo : SBG, 1981. v. 1, p.1-20.

ANDENBERG, MICHEL R.; 1958 "Cluster Analysis For Applications". New York: J. Wiley & Sons, 1958.

ARIOLI, E. E. ; LICHT, O. A. B. 2006 Mapeamento Geológico da Formação Serra Geral: Relatório Final das Folhas Cartográficas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão. Curitiba : MINEROPAR,.

ARIOLI, E. ; LICHT O. A. B 2012. Estudo de produtos hidrovulcânicos no sudoeste do Paraná. Curitiba, PR. MINEROPAR. Serviço Geológico do Paraná. 192 p.

BELL, F.G., 1978a. The physical and mechanical properties of the Fell Sandstones, Northumberland, England. Eng. Geol., 12: 1-29.

BELLIENI, G. 1984 High- and low-Ti flood basalts from the Paraná plateau(Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlung, Stuttgart, v. 150, p. 272-306,

BIENIAWSKI, Z.T., 1975. Point load in geotechnical practice. Eng. Geol., 9:1-11.

BLATT, H., 1982. Sedimentary Petrology. W.H. Freeman Comp., New York, N.Y., pp. 105-143.

BRACE, W.F., 1961. Dependence of fracture strength of rocks on grain size. Proc. 4th Syrup. Rock Mechanics, Univ. Park,

BRATTLI, BJORGE, 1992. The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. Department of Geology and Mineral Resources Engineering, University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, 7034 Trondheim, Norway.

BROCH, E. e FRANKLIN, J.A., 1972. Point-load strength test. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 9: 669-697.

BROCH, E., 1984. Estimation of strength anisotropy using the point-load test. Int. J. Rock Mech., Min. Sci. Geomech. Abstr., 20:181 187.

BRYANT,C, 1960. Edward C. Statistical analysis. New York: McGraw-Hill Book, 1960. 303p.

BUNCHART, Guenia; KELLNER, Sheilah R.O. 1999. Estatística sem mistérios. 2.ed. Petrópolis: Vozes, v.2, 303p.

CALLEGARI-JACQUES, 2003. Sidia M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, 2004. Carta Geológica do Brasil Ao Milionésimo, Folha Sg.22 Curitiba.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, 2013. Carta Geológica do Brasil Ao Milionésimo, Folha Sg.22 Curitiba.

D'ANDREA, D.V., FISHER R.L. E FOGELSEN D.E., 1965. Prediction of compressive strength from other rock properties. U.S. Bur. Min., Rep. Invest., No. 6702, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 29 pp.

DEERE, D.U. E MILLER, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Tech. Rep. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Force Base, 308 pp.

ERNESTO, M.; HODO, F. Y.; PACCA, I. G. 1979. Palaeomagnetic study of a sequence of basaltic flows of the Serra Geral Formation in Santa Catarina. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 51, p. 327-332.

FAHY, M.P. e GUCCIONE, M.J., 1979. Estimating strength of sandstone using petrographic thin-section data. Bull. Assoc. Eng. Geol., 16: 467-485.

FERGUSON, G. A.; 1981 “Statistical analysis in psychology and education”. 5.ed. New York: McGraw-Hill book.

FODOR, R.V. & VETTER, S.K. 1985. Mineral chemistry and petrography of passive-margin basalt Southeastern Brazil. Revista Brasileira de Geociências, 15(1): 36- 47

FÚLFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B. 1982. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 4, p. 590-610.

GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J. 1987. Mantle plumes, continental magmatism and asymmetry in the South Atlantic. Earth and Planetary Science

GUILFORD, J. P.; 1950. “Fundamental statistics in psychology and education”. 4.ed. New York: McGraw-Hill Book.

GUIMARÃES, D. 1933. Província Magmática do Brasil Meridional. Rio de Janeiro. Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil, Bol 64.

GUNSALLUS, K.L. E KULHAWY, F.H., 1984, A comparative evaluation of rock strength measures. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 21: 233-248.

HARALDSSON, H., 1984. Relation between petrography and the aggregate properties of Icelandic rocks. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 30: 73-76.

HASSANI, F.P., SCOBLE, M.J. AND WHITTAKER, B.N., 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for new size-correction chart. *Proc. 21st U.S. Symp. Rock Mechanics*, Rolla, Md., pp. 543-564.

HAWKINS, A. AND MCCONNELL, B.J., 1991. Influence on geology on geomechanical properties of sandstones. *Proc. 7th Int. Congr. Rock Mechanics*, Aachen, Balkema, Rotterdam, Vol. 1: 257-260.

HOWARTH, D.F.E ROWLANDS, J.C., 1986. Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotech. Testing J.*, 9: 169-179.

JUDD, W.R. AND HUBER, C., 1961. Correlation of rock properties by statistical methods. *Proc. Int. Symp. Mining Resources*, Univ. of Missouri at Rolla, Mo., pp. 621-648.

LE MAITRE, R.W., BATEMAN, P., DUDEK, A., KELLER, J., LAMEYRE, LE., BAS, M.J., SABINE, P.A., SCHIMD, R., SORENSEN, H., STRECKEISEN, A., WOOLLEY, A.R., ZANETTIN, B., 1989. A classification of igneous rock and a glossary of terms. Blackwell, Oxford.

LEINZ, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 103(5): 1-61.

LIRA, S. A.. 2004. Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com Aplicações. Dissertação ao Curso de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia- UFPR.

M. BLÜMEL, F.-J. BROSCHE & A. FASCHING. 1984. Investigations on fabrics and related mechanical properties of a highly anisotropic gneiss Analyse de la texture et des propriétés mécaniques associées d'un gneiss fortement anisotrope Untersuchungen des Gefüges und der damit verbundenen mechanischen Eigenschaften eines hochanisotropen Gneises: Geotechnical Group Graz, University of Technology, Graz, Austria *Letters*, v. 123, p. 105-117, 1994

MARTIN, H., SMITHIES, R.H., RAPP, R., MOYEN, J.-F., CHAMPION, D., 2005. An overview of adakite, TTG and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79, 1-24.

MARQUES, L.S., ERNESTO, M., PICCIRILLO, E.I.G., FIGUEIREDO, A.M.G. & MIN, A. 2005. Identificação de Diferentes Pulsos Magmáticos no Enxame de Diques Toleíticos da Serra do Mar. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO DE AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil,. *Anais...*, São Paulo, SBG. p. 289- 293

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná basin: an introduction. In: PICCIRILLO E. M.; MELFI, A. J. (Eds.). The Mesozoic flood volcanism of the Parana basin (Brazil): petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/ USP, p.1-14.

MENZIES, M. A., S. L. KLEMPERER, C. EBINGER, AND J. BAKER. 2000., Characteristics of volcanic rifted margins, in Menzies, M., S. Klemperer, C. Ebinger, and J. Baker, Volcanic Rifted Margins, Geol. Soc. Amer. Bull. Spec. Paper 362, 1-14,.

MENZIES, M. A. 2006. Characteristics of volcanism at non-active continental margins. London: University of London, Department of Geology.

MICHALOPOULOS, A.P. e TRIANDAFILIDIS, G.S., 1976. Influence of water on hardness, strength and compressibility. Bull. Assoc. Eng. Geol., 13: 124-126. MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), 1988. Summary report for the previous studies conducted by MTA's West Black Sea District Branch. Unpublished MTA Report, 76 pp (in Turkish).

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MILNER, S. C.; DUNCAN, A. R.; WHITTINGHAM, A. M.; EWART, A. 1995. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic units within the Paraná-Etendeka igneous province. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 69, n. 3-4, p. 137-157.

MIYATA, L. Y. 2014. Expressão do gene uidA dirigido por promotores preferencialmente ativados no floema de plantas transgênicas de laranja doce inoculadas com Candidatus. 84 p: il. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

MOOD, Alexander M.; GRAYBILL, Franklin A.; BOES, Duane C. 1974. Introduction to the theory of statistics. 3. ed. Singapore: McGraw-Hill Book, 1974. 564p

NARDY, A.J.R., OLIVEIRA, M.A.F., BETANCOURT, R.H.S., VERDUGO, D.R.H. & MACHADO, F.B. 2002. Geologia e Estratigrafia da Formação Serra Geral. Geociências, 21(1/2): 15-32.

O'CONNOR, J. M.; DUNCAN, R. A. 1990. Evolution of the Walvis Ridge – Rio Grande over plumes. Journal of Geophysical Research, v. 95, p. 17474-17502,.

OLLSON, W.A., 1974. Grain size dependance on yield stress in marble. J. Geophys. Res., 79: 4859-4861.

ONODERA, T.F. AND ASOKA, K.H.M., 1980. Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 22: 173-177. O'Rourke, J.E., 1989. Rock index properties for geoenengineering in underground development. Min. Eng., 41: 106-110.

ONODERA, T.F., ASOKA KUMARA, H.M., 1980. Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. Bulliten International Association of Engineering Geology, 22, 173-177.

PACCA, I. G.; HODO, F. Y. 1976. Paleomagnetic analysis of Mesozoic Serra Geral basaltic lava flows in southern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 48, p. 207-214.

PANDE, K.; PATTANAYAK, S. K.; SUBBARAO, K. V.; NAVANEETHAKRISHNAN, P.; VENKATESAN, T. R. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar age of a lava flow from the Bhimashankar Formation, Giravali Ghat, Deccan Traps. Powai, Mumbai: Institute of Technology.

PEARSON, Karl. 1892. The grammar of science. London, J. M. Dent and Company..

PEARSON, Karl; FISHER, Ronald & INMAN, Henry F. 1935. "Karl Pearson and R. A. Fisher on Statistical Tests: A 1935 Exchange from Nature". The American Statistician, 48,1: 2-11. 1994.

PEATE, D. W. 1989 Stratigraphy and petrogenesis of the Paraná continental flood basalts, southern Brazil., s.p. Tese (Doutorado em Geologia). The Open University. Milton Keynes.

RENNE, P. *et al.* 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. Science, v. 258, n. 5084, p. 975-979.

SHAKOOR, A. e BONELLI, R.E., 1991. Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties and mechanical properties of selected sandstones. Bull. Assoc. Eng. Geol., 28: 55-71

SIEGEL, 1975. Sidney. Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 350 p.

SILVEIRA, Fernando L. 1999. Um exemplo de análise multivariada aplicada à pesquisa quantitativa em ensino de ciências: explicando o desempenho dos candidatos ao concurso vestibular de 1999 da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 161-180.

SINGH, D.P., 1981. Determination of some engineering properties of weak rocks. Proc. Int. Symp. Weak Rock, Tokyo, pp. 315-320. STSC, Inc., 1991. Statgraphics: Statistical Procedures Reference Manual (Version 5.0). 1750 pp

SIQUEIRA, Arminda Lucia. Uso de transformação em análise de variância e análise de regressão. São Paulo, 1983. 154p. Dissertação (Mestrado), USP/IME.

SNEDECOR, GEORGE W.; COCHRAN, WILLIAM G. 1980. Statistical methods. 7.ed. Ames: Iowa State University, 1980. 507p.

THIEDE, D.S. & VASCONCELOS, P.M.2010. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. *Geologia*, v. 38, n. 8, p. 747-750, 2010.

TSIDZI, K.E.N., 1991. Point load-uniaxial compressive strength correlation. 7th Int. Cong. Rock Mechanics, Aachen, Balkema, Rotterdam, Vol. 1: 637-639.

TURNER, S.1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*.

WHITE, R.; McKENZIE, D.(1989) Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research*, AGU, v. 94, n. B6, p. 7685-7729.

ZALÁN, P. V. *et al.*1987. Tectônica e sedimentação da bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. Atas...Curitiba: SBG, v. 1, p. 441-477.

6. APÊNDICES

Tabela Síntese da Descrição Petrográfica																							
ID	Granulometria Fenocristal	Granulometria Matriz	Plagioclásio	Piroxênio	Opacos	Vidro Vulcânico	Obsidiana Cloritizada	Quartzo	Sericita	epidoto	Clorita	Argilominerais	Hidróxidos de Ferro	Apatita	Celadonita	Carbonato	Zeólitas	PLG + PX	PLG+ PX+ Vidro	Secundários	Estrutura	Textura	Nome da Rocha
BNM-01	0,60	0,10	40	30	15	5	0	0	2	2	2	5	10	0	0	0	0	70	75	21	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-02	0,50	0,20	50	30	10	10	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	80	90	8	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-03	1,00	0,30	45	35	10	10	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	80	90	10	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-04	0,20	0,05	45	30	10	10	0	0	0	2	0	0	2	0	5	0	2	75	85	11	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-05	0,60	0,10	45	25	15	10	0	0	2	2	5	2	2	0	0	0	0	70	80	13	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-06	1,00	0,40	45	35	10	0	10	0	2	2	2	0	2	0	0	0	0	80	80	8	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-07	0,40	0,15	45	40	15	2	0	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0	85	87	8	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-08	0,80	0,20	45	35	10	0	0	0	0	2	0	5	5	0	0	0	0	80	80	12	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-09	0,60	0,10	40	35	15	5	0	0	0	2	0	5	2	0	0	0	0	75	80	9	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-10	0,40	0,15	40	35	15	0	0	0	0	0	0	5	5	0	2	0	0	75	75	12	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-11	0,50	0,20	55	30	15	2	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	85	87	10	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-12	0,40	0,10	40	35	10	0	0	0	0	0	2	5	5	0	0	2	2	75	75	16	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-13	0,40	0,20	50	30	10	10	0	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	80	90	8	Maciça	SUBAFÍRICA EM MATRIZ SUBOFÍTICA A INTERSERTAL	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-14	0,30	0,10	45	25	15	10	0	0	2	2	5	2	2	0	0	0	0	70	80	13	Maciça	SUBAFÍRICA EM MATRIZ SUBOFÍTICA A INTERSERTAL	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-15	0,30	0,10	45	30	10	5	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	75	80	4	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-16	0,30	0,15	45	35	15	0	0	0	0	2	0	0	2	0	5	0	0	80	80	9	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica,	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-17	0,20	0,10	50	35	10	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	85	85	7	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-18	0,30	0,10	55	35	10	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	90	90	4	Maciça	Subafírica em matriz intergranular	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-19	0,40	0,20	45	35	10	5	0	0	0	2	0	5	2	0	0	2	0	80	85	11	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-20	0,40	0,10	30	45	5	0	0	0	0	0	0	2	20	0	0	0	0	75	75	22	Maciça	Porfíritica em matriz ofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-21	0,60	0,20	40	35	15	0	0	0	0	0	0	2	10	0	0	0	0	75	75	12	Fluidal, definida pela orientação de cristais de plagioclásio da matriz	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-22	0,30	0,20	40	30	10	0	0	0	0	2	5	0	10	0	0	0	0	70	70	17	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-23	0,50	0,20	45	40	10	0	0,00	0	0	0	0	5	2	0	2	2	0	85	85	11	Maciça	Porfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-24	0,50	0,20	45	40	10	0	0	0	0	0	0	5	2	0	2	2	0	85	85	11	Maciça	Porfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-25	0,60	0,10	45	35	10	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	80	90	10	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-26	0,40	0,40	45	35	5	5	10	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	80	85	4	Maciça	Porfíritica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-27	0,60	0,15	30	40	20	0	0	0	0	2	0	2	10	0	0	0	0	70	70	14	Maciça	Porfíritica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-28	0,60	0,15	50	35	15	0	0	0	0	2	2	2	2	0	2	0	0	85	85	10	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-29	0,10	0,10	50	35	2	2	0	10	0	0	2	0	5	0	0	0	0	85	87	17	Maciça	Subafírica em matriz subofítica a intergranular	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-30	0,30	0,30	50	40	10	0	0	2	0	2	0	2	2	0	0	0	0	90	90	8	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-31	0,30	0,20	45	35	10	5	5	0	0	2	0	2	5	0	0	0	0	80	85	9	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-32	0,20	0,20	55	30	10	5	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	85	90	6	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-33	0,10	0,10	40	35	15	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	75	75	10	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-34	0,40	0,15	45	35	15	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	2	80	80	9	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-35	0,50	0,25	55	30	10	0	0	2	2	2	5	2	2	0	0	0	0	85	85	15	Maciça	SUBAFÍRICA EM MATRIZ SUBOFÍTICA A INTERGRANULAR	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-36	0,30	0,10	45	40	10	5	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	85	90	6	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-37	0,10	0,10	50	35	10	5	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	85	90	10	Maciça	SUBAFÍRICA EM MATRIZ SUBOFÍTICA	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-38	0,60	0,30	45	35	10	5	15	0	0	2	0	5	2	0	0	2	0	80	85	11	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-39	0,20	0,10	40	35	15	2	0	5	0	0	2	5	2	0	2	0	0	75	77	16	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-40	0,40	0,10	45	30	10	10	0	0	2	2	2	2	5	0	2	2	0	75	85	17	De Fluxo, definido pela orientação de cristais de labradorita,	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-41	0,60	0,30	40	35	10	0	10	0	2	2	2	2	2	0	2	0	0	75	75	12	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-42	0,60	0,30	55	35	10	0	0	0	2	2	2	2	2	0	2	0	0	90	90	12	Fluidal	Porfíritica em matriz intergranular	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-43	0,80	0,50	45	35	10	0	10	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	80	80	8	Maciça	Glomeroporfíritica em matriz Subofítica a intersertal	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-44	0,50	0,20	40	30	15	0	0	0	0	2	2	5	2	0	5	5	0	70	70	21	Amigdalóide	Porfíritica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-45	0,50	0,30	50	35	10	0	5	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	85	85	8	Maciça	Subafírica em matriz subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)
BNM-46	0,20	0,20	45	35	20	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	80	80	6	Maciça	Subafírica em matriz Subofítica	Basalto (Le Maitre, 1989)

Tabela síntese dos resultados de ensaios Físico-Mecânicos				
ID	Abração Los Angeles %	Durabilidade %	Massa Específica g/cm ³	Absorção d'água %
BNM-01	15,20	2,46	2,92	0,91
BNM-02	15,00	2,07	2,92	0,77
BNM-03	32,40	2,44		
BNM-04	13,70	0,71	2,76	1,66
BNM-05	13,70	2,37	2,94	0,72
BNM-06	30,50	9,14	2,87	1,90
BNM-07	10,00	3,49	3,04	
BNM-08	13,20	2,40		
BNM-09	18,00	4,70	2,88	
BNM-10	14,00	1,50		
BNM-11	14,10	2,94	2,91	1,35
BNM-12	23,00	1,56		
BNM-13	10,20	2,19	2,82	1,64
BNM-14	23,60	1,93	2,79	1,90
BNM-15	11,10	1,14	2,94	1,70
BNM-16	12,00	2,00	2,85	2,10
BNM-17	17,00	2,15		
BNM-18	19,70	0,30		
BNM-19	23,00	2,60		
BNM-20	13,50	7,98		
BNM-21	21,20	5,86		
BNM-22	16,10	0,50	3,03	1,22
BNM-23	25,80	6,20		
BNM-24	21,90	7,34		
BNM-25	20,90	2,30		
BNM-26	27,80	9,65		
BNM-27	16,90	6,84		
BNM-28	17,90	1,80	2,93	0,57
BNM-29	15,20	0,84	2,93	0,59
BNM-30	15,90	6,46		
BNM-31	20,04	8,83		

BNM-32	21,75	0,30	2,90	2,39
BNM-33	18,80	0,30		
BNM-34	20,90	2,30		
BNM-35	28,00	4,42	2,87	1,66
BNM-36	18,10	0,60		
BNM-37	14,70	1,01	2,88	1,23
BNM-38	22,00	12,70	2,88	1,60
BNM-39	15,30	2,30		
BNM-40	12,70	0,94	2,90	
BNM-41	15,50	12,00	2,81	
BNM-42	12,10	1,12	3,01	1,00
BNM-43	30,50	9,14	2,87	1,90
BNM-44	14,80	5,27		
BNM-45	21,40	5,70		
BNM-46	13,00	0,22	2,92	1,20

Apêndice II

Tabela de identificação e localização das amostras

ID	Nome Amostra	Local	Coordenadas UTM	
			Longitude mE	Latitude mS
BNM-01	Pedreira Santa Lúcia KSG-02 profundidade 25m - Basalto Vermelho	Santa Lúcia	240642	7191857
BNM-02	Pedreira Santa Lúcia KSG-02 profundidade 13m - Basalto Cinza	Santa Lúcia	240642	7191857
BNM-03	Pedreira Tapalam DNPM: 826,235/2008	Marilândia do Sul, PR	471814	7374447
BNM-04	SURG 1 826,449/2005	Palmeirinha, BR 466, km 12 Guarapuava, PR	446655	7205389
BNM-05	Construtora Castilho S/A 826,142/2010	Marechal Cândido Rondon, PR	189454	7275990
BNM-06	Pedreira Schroeder 826,595/2009	Segatti Nova Fátima, PR	537596	7410314
BNM-07	SAMP 826,580/2003	Rodovia BR-277 km 688 Serra do Mico São Miguel do Iguçu, PR	177957	7194292
BNM-08	Pedreira Rio Quati Ltda, – DNPM 826,952/1996	Estrada Rio da Paz, s/nº km 4 Cascavel, PR	251516	7230744
BNM-09	Construtora Castilho S/A 826,492/2005	Fazenda Pau D'Alho Ribeirão Claro, PR	626058	7432306
BNM-10	Construtora Castilho S/A 826,837/1994	Capanema, PR	228908	7164245
BNM-11	Construtora Castilho S/A 826,191/2010; 826,761/2012	Toledo, PR	203083	7280895
BNM-12	Construtora dos Campos Gerais Ltda 826,517/2000	Guarapuava, PR	462769	7193939
BNM-13	CONCISA PAVIMENTAÇÃO E TERRAPLANAGEM LTDA 815,269/2010	Nova Itaberaba, SC	323536	7017266
BNM-14	Construtora Oliveira Ltda, 815,310/2008 e 815,517/2009	Cordilheira Alta, SC	334835	7017642
BNM-15	Evandro Antônio Tondo 815,055/2002	Belmonte, SC	245105	7029471
BNM-16	Jeferson Ângelo Tondo 815,499/2003	São Miguel D'Oeste, SC	247878	7042672
BNM-17	Basalto Mineração Ltda, Ped Ourizona	Ourizona, PR	378648	7414134
BNM-18	Mineração Dalmina Ltda, 826,216/2000	Marechal Cândido Rondon, PR	188843	7285218
BNM-19	H, MARQUES FERNANDES E CIA LTDA 826,655/2001	Jandaia do Sul, PR	435918	7391250
BNM-20	Pedreira Água Boa // CONTERPAVI 826,256/1998	Paiçandu, PR	378794	7400061
BNM-21	Pedreira Itambé LEPavi CONSTRUÇÕES LTDA, 826,326/1994	Itambé, PR	396434	7384820
BNM-22	Petrocon Construtora de Obras Ltda, 826,503/1995 e 826,441/2000	Cascavel, PR	250593	7233082
BNM-23	Basalto Mineração Ltda, Pe Cambuci	Cianorte, PR	343173	7382145

BNM-24	Basalto Mineração Ltda, Ped Vidigal	Cianorte, PR	345052	7389607
BNM-25	CCPO Construtora Catarinense de Pavimentação e Obras Ltda, 826,142/1996 e 826,145/1996	Cordilheira Alta, SC	332917	7013763
BNM-26	Basalto Mineração Ltda, 826,003/2002	Doutor Camargo, PR	372510	7392394
BNM-27	Basalto Mineração Ltda, 826,113/2001	Formosa do Oeste, PR	265528	7309469
BNM-28	Pedreira Britador Oeste LTDA, 815,578/2007	Guaraciaba, SC	249902	7058469
BNM-29	Pedreira Britador Oeste LTDA, 815,579/2007	Itapiranga, SC	231637	6996896
BNM-30	Basalto Mineração Ltda, 826,111/2001	Jesuítas, PR	258484	7300936
BNM-31	Basalto Mineração Ltda, 826,112/2001	Nova Aurora, PR	279323	7299360
BNM-32	Pedreira Dalmina Ltda 826,512/2009	Laranjeiras do Sul, PR	355497	7191921
BNM-33	Evandro Antônio Tondo 826,081/2002	Sta Tereza do Oeste, PR	239177	7216213
BNM-34	Pavimar Construtora de Obras Ltda 826,723/2001 e 826,724/2001	Santa Tereza do Oeste, PR	238241	7216819
BNM-35	Osvaldo A, Marques 826,184/2009	Brasilândia do Sul, PR	241912	7319145
BNM-36	Redram Construtora de Obras Ltda, 826,991/2001 Pedreira Porto Belo	Foz do Iguaçu, PR	138662	7176529
BNM-37	KSG 3 Pedreira Pérola Ltda 826,109/2010; 826,110/2010; 826,111/2010; 826,112/2010	Guarapuava, PR	449759	7185894
BNM-38	Mineração Porto Camargo Ltda 826,393/2002; 826,444/2002; 826,135/2003	Mandaguari, PR	426035	7398061
BNM-39	Basalto Mineração Ltda, 826,123/2001	Ubiratã, PR	307937	7287464
BNM-40	Dalba Engenharia e Empreendimentos LTDA 826,498/2006	Francisco Beltrão, PR	297857	7114725
BNM-41	BRITADOR IGUAÇU LTDA 826,706/2011	Capanema, PR	222835	7161093
BNM-42	PEDREIRA DO TREVO LTDA Terra Roxa	Terra Roxa, PR	355502	7193948
BNM-43	Pedreira Schroeder Ltda	Nova Fátima, PR	332654	7389607
BNM-44	Basalto Paranacity	Paranacity, PR	355497	7191921
BNM-45	Pedreira Pedranorte LTDA,	Cornélio Procópio, PR	250593	7233082
BNM-46	Redram Carima	Foz do Iguaçu, PR	228908	7164245

Tabela de Correlação de Pearson para abrasão Los Angeles								
	n (pares) =	r (Pearson) =	IC 95% =	IC 99% =	R2 =	t =	GL =	(p) =
fenocristal	46	0,4336	0,16 a 0,64	0,07 a 0,70	0,188	3,1918	44	0,0026
matriz	46	0,543	0,30 a 0,72	0,21 a 0,76	0,2949	4,2897	44	< 0,0001
plagioclásio	46	0,067	-0,23 a 0,35	-0,32 a 0,43	0,0045	0,4452	44	0,6584
piroxênio	46	0,0827	-0,21 a 0,36	-0,30 a 0,44	0,0068	0,5507	44	0,5846
opacos	46	-0,2254	-0,48 a 0,07	-0,55 a 0,16	0,0508	-1,5348	44	0,1319
vidro vulcânico	46	-0,038	-0,32 a 0,26	-0,41 a 0,34	0,0014	-0,2524	44	0,8019
obsidiana cloritizada	9	0,6083	-0,09 a 0,91	-0,33 a 0,94	0,37	2,0275	7	0,0821
quartzo	46	-0,0747	-0,36 a 0,22	-0,44 a 0,31	0,0056	-0,4969	44	0,6218
sericita	46	-0,0525	-0,34 a 0,24	-0,42 a 0,33	0,0028	-0,3486	44	0,729
epidoto	46	-0,1083	-0,39 a 0,19	-0,46 a 0,28	0,0117	-0,7228	44	0,4736
clorita	46	0,0018	-0,29 a 0,29	-0,37 a 0,38	0	0,0121	44	0,9904
argilominerais	46	0,1374	-0,16 a 0,41	-0,25 a 0,49	0,0189	0,9202	44	0,3624
hidróxidos de ferro	46	-0,1147	-0,39 a 0,18	-0,47 a 0,27	0,0131	-0,7657	44	0,4479
apatita	46	0,1358	-0,16 a 0,41	-0,25 a 0,49	0,0185	0,9095	44	0,368
celadonita	46	-0,3155	-0,55 a -0,03	-0,62 a 0,07	0,0995	2,2054	44	0,0326
carbonato	46	0,0757	-0,22 a 0,36	-0,31 a 0,44	0,0057	0,5034	44	0,6172
zeólitas	46	0,0424	-0,25 a 0,33	-0,34 a 0,41	0,0018	0,2818	44	0,7794
plg + px	46	0,1227	-0,17 a 0,40	-0,26 a 0,48	0,0151	0,82	44	0,4166
plg+ px+ vidro	46	0,0915	-0,20 a 0,37	-0,29 a 0,45	0,0084	0,6093	44	0,5455
Minerais secundários	46	-0,1704	-0,44 a 0,13	-0,51 a 0,22	0,029	-1,1474	44	0,2574

Tabela de Correlação Coeficiente de Spearman para abrasão Los Angeles				
	Coeficiente de Spearman (rs)=	t =	(p)=	Número de pares =
Granulometria Fenocristal	0,2491	1,7064	0,0949	46
Granulometria Matriz	0,3584	2,5467	0,0144	46
Obsidiana	0,7145	2,7019	0,0305	9
Celadonita	-0,342	2,4143	0,0199	46

Apêndice IV

Tabela de Correlação de Pearson para durabilidade								
	n (pares) =	r (Pearson) =	IC 95% =	IC 99% =	R2 =	t =	GL =	(p) =
fenocristal	46	0,4496	0,18 a 0,65	0,09 a 0,71	0,2021	3,3384	44	0,0017
matriz	46	0,6322	0,42 a 0,78	0,34 a 0,81	0,3997	5,4129	44	< 0,0001
plagioclásio	46	-0,2894	-0,53 a 0,00	-0,60 a 0,10	0,0838	-2,0056	44	0,051
piroxênio	46	0,3532	0,07 a 0,58	-0,02 a 0,64	0,1247	2,5041	44	0,016
opacos	46	-0,1842	-0,45 a 0,11	-0,52 a 0,20	0,0339	-1,2428	44	0,2204
vidro vulcânico	46	-0,2199	-0,48 a 0,08	-0,55 a 0,17	0,0483	-1,4951	44	0,1419
obsidiana cloritizada	9	0,7862	0,64 a 0,88	0,58 a 0,90	0,6181	8,4396	44	< 0,0001
quartzo	4	-0,8958	-1,00 a 0,47	-1,00 a 0,81	0,8025	-2,8506	2	0,1041
sericita	46	0,0398	-0,25 a 0,33	-0,34 a 0,41	0,0016	0,2643	44	0,7928
epidoto	46	0,1129	-0,18 a 0,39	-0,27 a 0,47	0,0127	0,7536	44	0,4551
clorita	46	-0,2253	-0,48 a 0,07	-0,55 a 0,16	0,0508	-1,5339	44	0,1321
argilominerais	46	0,2015	-0,09 a 0,46	-0,19 a 0,54	0,0406	1,3645	44	0,1793
hidróxidos de ferro	46	0,0784	-0,22 a 0,36	-0,30 a 0,44	0,0062	0,5218	44	0,6044
apatita	46	-0,2127	-0,47 a 0,08	-0,54 a 0,18	0,0452	-1,4436	44	0,1558
celadonita	46	-0,0454	-0,33 a 0,25	-0,41 a 0,33	0,0021	-0,3014	44	0,7645
carbonato	46	0,1316	-0,17 a 0,41	-0,26 a 0,48	0,0173	0,8804	44	0,3834
zeólitas	46	-0,1774	-0,44 a 0,12	-0,52 a 0,21	0,0315	-1,1954	44	0,2383
plg + px	46	-0,0389	-0,33 a 0,25	-0,41 a 0,34	0,0015	-0,2582	44	0,7974
plg+ px+ vidro	46	-0,1746	-0,44 a 0,12	-0,52 a 0,21	0,0305	-1,1766	44	0,2456
Minerais secundários	46	0,0232	-0,27 a 0,31	-0,35 a 0,39	0,0005	0,1538	44	0,8785

Tabela de Correlação Coeficiente de Spearman para durabilidade				
	Coeficiente de Spearman (rs)=	t =	(p)=	Número de pares =
Granulometria Matriz	0,5508	4,3776	< 0,0001	46
Granulometria Fenocristal	0,5979	4,9482	< 0,0001	46
Obsidiana Cloritizada	0,6004	4,9799	< 0,0001	9
Quartzo	-0,9487	-4,2426	0,0513	4

Apêndice V

Tabela de Correlação de Pearson para massa específica								
	n (pares) =	r (Pearson) =	IC 95% =	IC 99% =	R2 =	t =	GL =	(p) =
fenocristal	24	0,0345	-0,37 a 0,43	-0,48 a 0,54	0,0012	0,1619	22	0,8729
matriz	24	0,1035	-0,31 a 0,49	-0,43 a 0,58	0,0107	0,4883	22	0,6302
plagioclásio	24	0,0861	-0,33 a 0,47	-0,44 a 0,57	0,0074	0,4053	22	0,6891
piroxênio	24	0,2591	-0,16 a 0,60	-0,29 a 0,68	0,0671	1,2584	22	0,2214
opacos	24	0,0559	-0,36 a 0,45	-0,47 a 0,55	0,0031	0,2627	22	0,7952
vidro vulcânico	24	-0,3483	-0,66 a 0,06	-0,73 a 0,20	0,1213	-1,7429	22	0,0952
obsidiana cloritizada	24	-0,2534	-0,60 a 0,17	-0,68 a 0,29	0,0642	-1,2287	22	0,2321
quartzo	24	0,0786	-0,34 a 0,47	-0,45 a 0,57	0,0062	0,3697	22	0,7151
sericita	24	-0,1674	-0,53 a 0,25	-0,62 a 0,37	0,028	-0,7962	22	0,4344
epidoto	24	-0,1183	-0,50 a 0,30	-0,59 a 0,42	0,014	-0,5587	22	0,582
clorita	24	0,1463	-0,27 a 0,52	-0,39 a 0,61	0,0214	0,6934	22	0,4953
argilominerais	24	-0,0362	-0,43 a 0,37	-0,54 a 0,48	0,0013	-0,1698	22	0,8668
hidróxidos de ferro	24	0,3069	-0,11 a 0,63	-0,24 a 0,71	0,0942	1,5125	22	0,1446
apatita	24	0,0662	-0,35 a 0,46	-0,46 a 0,56	0,0044	0,3113	22	0,7585
celadonita	24	-0,2277	-0,58 a 0,19	-0,66 a 0,32	0,0518	-1,0966	22	0,2846
carbonato	24	-0,0394	-0,44 a 0,37	-0,54 a 0,48	0,0016	-0,1851	22	0,8549
zeólitas	2	-0,4324	-0,71 a -0,04	-0,77 a 0,10	0,1869	-2,249	22	0,0348
plg + px	24	0,2316	-0,19 a 0,58	-0,32 a 0,66	0,0536	1,1167	22	0,2761
plg+ px+ vidro	24	-0,0111	-0,41 a 0,39	-0,52 a 0,50	0,0001	-0,0521	22	0,9589
Minerais secundários	24	0,0926	-0,32 a 0,48	-0,44 a 0,58	0,0086	0,4363	22	0,6669

Apêndice VI

Tabela de Correlação de Pearson para absorção d'água

	n (pares) =	r (Pearson) =	IC 95% =	IC 99% =	R2 =	t =	GL =	(p) =
fenocristal	20	0,2197	-0,25 a 0,60	-0,38 a 0,69	0,0483	0,9556	18,0000	0,3519
matriz	20	0,1019	-0,36 a 0,52	-0,48 a 0,62	0,0104	0,4346	18,0000	0,6690
plagioclásio	20	0,0068	-0,44 a 0,45	-0,55 a 0,56	0,0000	0,0290	18,0000	0,9772
piroxênio	20	-0,0498	-0,48 a 0,40	-0,59 a 0,52	0,0025	-0,2114	18,0000	0,8349
opacos	20	0,0058	-0,44 a 0,45	-0,55 a 0,56	0,0000	0,0244	18,0000	0,9808
vidro vulcânico	20	-0,0173	-0,46 a 0,43	-0,57 a 0,54	0,0003	-0,0733	18,0000	0,9423
obsidiana cloritizada	20	0,2971	-0,17 a 0,65	-0,31 a 0,73	0,0882	1,3199	18,0000	0,2033
quartzo	20	-0,3365	-0,68 a 0,12	-0,75 a 0,27	0,1132	-1,5159	18,0000	0,1468
sericita	20	-0,0251	-0,46 a 0,42	-0,57 a 0,54	0,0006	-0,1065	18,0000	0,9164
epidoto	20	0,3288	-0,13 a 0,67	-0,28 a 0,75	0,1081	1,4773	18,0000	0,1568
clorita	20	-0,3790	-0,70 a 0,08	-0,77 a 0,22	0,1437	-1,7377	18,0000	0,0993
argilominerais	20	-0,1007	-0,52 a 0,36	-0,62 a 0,48	0,0101	-0,4296	18,0000	0,6726
hidróxidos de ferro	20	-0,2693	-0,64 a 0,20	-0,72 a 0,34	0,0725	-1,1865	18,0000	0,2508
apatita	20	-0,0898	-0,51 a 0,37	-0,61 a 0,49	0,0081	-0,3824	18,0000	0,7066
celadonita	20	0,1466	-0,32 a 0,55	-0,44 a 0,65	0,0215	0,6290	18,0000	0,5373
carbonato	20	0,0893	-0,37 a 0,51	-0,49 a 0,61	0,0080	0,3805	18,0000	0,7080
zeólitas	20	0,1162	-0,34 a 0,53	-0,47 a 0,63	0,0135	0,4963	18,0000	0,6257
plg + px	20	-0,0223	-0,46 a 0,42	-0,57 a 0,54	0,0005	-0,0945	18,0000	0,9258
plg+ px+ vidro	20	-0,0371	-0,47 a 0,41	-0,58 a 0,53	0,0014	-0,1574	18,0000	0,8767
Minerais secundários	20	-0,4456	-0,74 a 0,00	-0,80 a 0,15	0,1986	-2,1118	18,0000	0,0489

Apêndice VII